



Получена: 24.01.2019 г.

Приета: 14.02.2019 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВАЛИДНОСТТА НА УПЛЪТНЕНИЕТО ПО МЕТОДА „ВАЛЦУВАЩ СЕГМЕНТ“ ПРИ ЦИМЕНТО- СТАБИЛИЗИРАНИ СМЕСИ С ФРЕЗОВАН АСФАЛТ

М. Дончев¹, Н. Михайлов², Р. Блаб³

Ключови думи: студено рециклиране на място, фрезован асфалт, цименто-стабилизиращи смеси, обемна плътност, валцуващ сегмент, модифициран proctor

РЕЗЮМЕ

Постигането на проектната плътност в полеви условия е от съществено значение за качеството и дълготрайността на пътната конструкция. При ремонти по технологията „Студено рециклиране на място“ това е съществен проблем. Тук най-често става дума за асфалтови настилки с висока степен на разрушение и нееднородната строителна среда е неизбежен фактор със значително влияние върху качеството на изпълнението. Целта на настоящото изследване е да провери валидността на лабораторния метод за уплътнение „валцуващ сегмент“ при цименто-стабилизиращи смеси с фрезован асфалт в състава. Сравняват се: полево уплътнени проби; уплътнени по метода „модифициран proctor“ и по метода „валцуващ сегмент“, като изследваният параметър е обемната плътност на сместа.

1. Въведение и цел

Постигането на проектната плътност в полеви условия е от съществено значение за качеството и дълготрайността на пътната конструкция. При ремонти по технологията

¹ Марин Дончев, ас. инж., кат. „Пътища“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: marin_sd@abv.bg

² Николай Михайлов, проф. д.ик.н. инж., кат. „Пътища“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: road.uacg@gmail.com

³ Роналд Блаб, проф. д-р инж., ТУ-Виена, Институт по пътища, Gußhausstraße 28/230/3, A-1040, Vienna, e-mail: ronald.blab@tuwien.ac.at

„Студено рециклиране на място“ това се явява проблемна област. Тук най-често става дума за асфалтови пътни настилки с висока степен на разрушение. По време на изпълнението строителната среда често пъти е нееднородна, а и не рядко се преминава през участъци с компрометирана носимоспособност в подосновните пластове и/или земната основа. Изброеното дотук може да бъде реална причина за непостигане на проектната плътност на сместа, което впоследствие се отразява върху общата носимоспособност на усилената настилка.

В световната пътно-строителна практика, непосредствено след изпълнение на несвързани или хидравлично-свързани пластове, постигнатото на място уплътнение традиционно се контролира полево с динамична или статична измервателна техника. В частност при хидравлично-свързаните смеси, след набиране на необходимата якост, степента на уплътнение може да бъде проверена допълнително чрез съпоставка на обемните плътности от лабораторни и полеви проби. Често срещано изискване е да се постигне 98% от максималната плътност.

Хидравлично-свързаните смеси традиционно се уплътняват в лабораторни условия по метода „proctor“, вж. [1], а асфалтовете по метода „маршалов чук“, вж. [14]. Двамата метода са базирани на принципа „ударно уплътнение“, като пробните тела имат цилиндрична форма.

Друг тип лабораторно уплътняване е стандартизираното за асфалтови смеси в [2], което се прилага основно при изследване на експлоатационните характеристики на асфалта. Технологиата на уплътнение е базирана на валцуващ принцип, като пробните тела имат призматична форма (плочи). Официалната актуализация на европейския стандарт е в сила от 2007 г. и регламентира три метода, вж. [2]. През последното десетилетие все по-често се прилага уплътняване с механичната система „валцуващ сегмент“, вж. [15 – 19], а методът се основава на този от параграф 5.2.1 на [2]. В Австрия и Германия уплътнението на асфалтови смеси с валцуващ сегмент е регламентирано, вж. [17, 18], докато на европейско ниво все още не е официално стандартизирано, но се предвижда да бъде въведено като четвърти независим метод към [2], вж. [19].

Методът „валцуващ сегмент“ би могъл да се прилага ефективно и за уплътняване на цименто-стабилизирани смеси. Това налага да бъде потвърдена валидността на резултатите за конкретния тип смеси.

Настоящият експеримент има за цел да провери валидността на лабораторния метод за уплътнение „валцуващ сегмент“ при цименто-стабилизирани смеси с фрезован асфалт в състава. Сравняват се: полево уплътнени проби; проби, уплътнени по метода „модифициран proctor“ и по метода „валцуващ сегмент“, като изследваният параметър е обемната плътност на сместа.

2. Методичен подход

Методиката за изследване е разпределена в следните стъпки:

- полеви предпоставки;
- вземане на пробни ядки;
- уплътняване по метод „модифициран proctor“;
- уплътнение по метод „валцуващ сегмент“;
- определяне на плътността.

2.1. Полеви условия

За целите на изследването е избран пробен участък, част от пътя за достъп към депо „Перник“. При съществуващото състояние на настилката се наблюдават мрежовидни пукнатини, дупки, кръпки и изравнения, вж. [4], което свидетелства за висока степен на разрушение.

Окончателен избор на пробния участък е направен след анализ на съществуващата носимоспособност, вж. параграф 3.1. Целта на това предварително проучване е максимално да бъдат ограничени странични фактори, като променлива носимоспособност под стабилизацията и вариация в състава на сместа, които биха могли да компрометират валидността на крайния резултат.

Анализът на съществуващата носимоспособност е направен на два етапа. В рамките на първия етап е измерена носимоспособността под предвидената дебелина на стабилизацията, при пикетни точки 1200 и 1360. На същите места е направено пробовземането, вж. [4]. Изпитването е извършено с динамична натискова плоча съгласно [3], вж. фиг. 1.



Фиг. 1. Измерване на носимоспособността под предвидената дебелина на стабилизацията

Окончателният избор на тестова отсечка е направен след измерване на съществуващата носимоспособност на ниво асфалтова повърхност по цялата дължина на трасето (втори етап). Измерването е проведено с греда на Бенкелман в съответствие с [5, 13].

Финално е избран хомогенен по носимоспособност участък с обща дължина 540 m и е приложена проектна рецепта с 3,6% СЕМ II 32,5N, вж. [4].

2.2. Вземане на пробни ядки

Пробните ядки са взети след набиране на проектната якост със съдействието на „Независима строителна лаборатория“ при „Институт по транспортно строителство и инфраструктура ООД“. Извадени са общо 18 ядки с диаметър 100 mm, вж. фиг. 2.



Фиг. 2. Пробни ядки от пътната конструкция

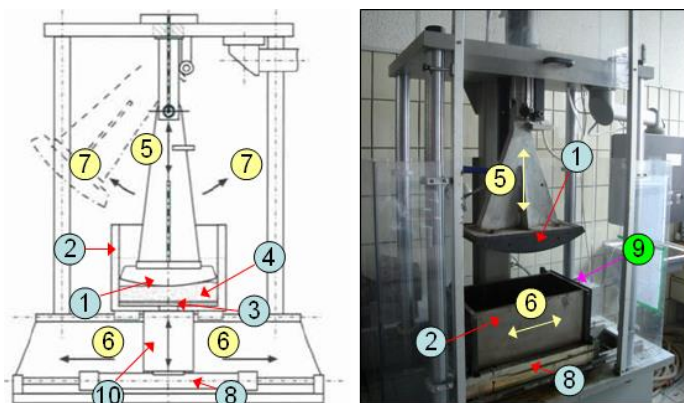
Както се вижда на фиг. 2, някои от ядките са с по-малка височина, тъй като при пробовземането не винаги е възможно да бъде извадена цялостна ядка. Пробите, по-къси от 1,5 пъти от диаметъра на ядката, са отхвърлени.

2.3. Уплътняване по метод „модифициран proctor“

Този етап от изследването е проведен в „Пътностроителна лаборатория“ към „Трейс-Пътно строителство АД“. В рамките на анализа е измерена обемната плътност на общо 23 цилиндъра с височина 60 mm и диаметър 150 mm. Методиката на уплътнение е съобразена с [1, 6], а особеностите при конкретния случай са описани в [4].

2.4. Уплътняване по метод „валцуващ сегмент“

Този етап от изследването е проведен в „Пътностроителна лаборатория“ към „Институт по пътища“ на ТУ – Виена. Методът „валцуващ сегмент“ е предназначен за уплътняване на асфалтови смеси в лабораторни условия, а към днешна дата е регламентиран в [17] и [18]. Системата уплътнява смесите, симулирайки валцуване в реални условия. Принципът на действие и единичните компоненти са показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Валцуващ сегмент (елементи и работна схема), [21]

Валцуващ сегмент – (1); кутия за сместа с вътрешни размери: 50 cm × 26 cm × 16 cm – (2); метална подложна плоча /основна плоча/ – (3); уплътнена асфалтова смес – (4); посока на потъване на сегмента – (5); посока на движение на кутията – (6); посока на движение на сегмента – (7); траверса, движеща се по релси – (8); място за поставяне на горната кутия – (9); бутало, придвижващо основната плоча от долната към горната кутия – (10)

Използваният апарат, производство на немската фирма Freundl, уплътнява призматични плочи с дължина 50 cm, широчина 26 cm и променлива височина.

2.4.1. Рецептурен състав и изготвяне на сместа

В рамките на това изследване се предвиждат две рецепти с различни количества СЕМ II 32,5N. Първата рецепта е с 3,6% цимент, вж. [4], а втората с 4,6%. Както и в [4], така и тук съдържанието на свързващо вещество се определя като процент от сухата маса на минералния състав, а необходимото водно количество като процент от масата на сухия състав.

За разлика от уплътнението по метода „модифициран proctor“, където имаме петстепенно наслояване на материала и се запълва цялата кофражна форма, тук готовата смес се изсипва на един път и в зависимост от желаната дебелина се запълва определена част от формата. Това налага обемът и целевата обемна плътност на готовата плоча да бъдат предварително уточнени, след което спрямо тях се определят масите на отделните съставки. Целевата обемна плътност е съобразена с получената средна стойност на резултатите от полево уплътнените проби, вж. фиг. 9.

Сместа се подготвя по същия начин както и в [4] – с уред за принудително смесване.

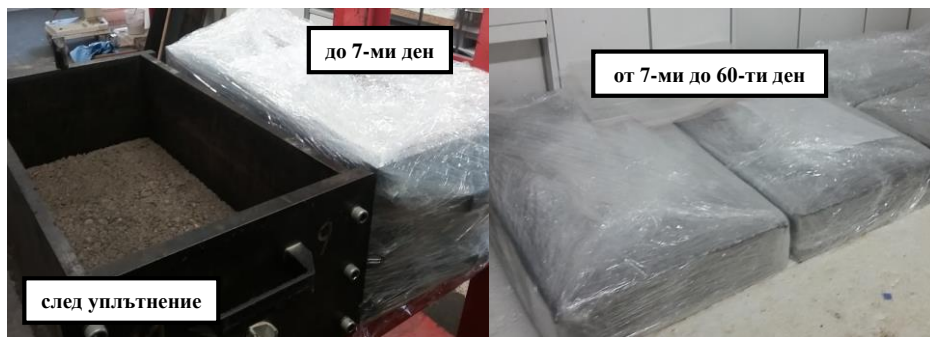
2.4.2. Уплътняване и депониране

След като сместа е готова, започва изготвянето на плочите. Процесът е разделен на четири стъпки. Под внимание са взети изискванията на [17, 18], както и препоръките на фирма Freundl, вж. [7].

- **Стъпка 1:** Горната кутия се прикрепва към долната и вътре се поставя основната плоча, върху която трябва да се изсипе готовата смес.
- **Стъпка 2:** Сместа се изсипва във формата, размесва се допълнително и едновременно с това се разпределя равномерно, след което ръчно се натъпква с трамбовка.

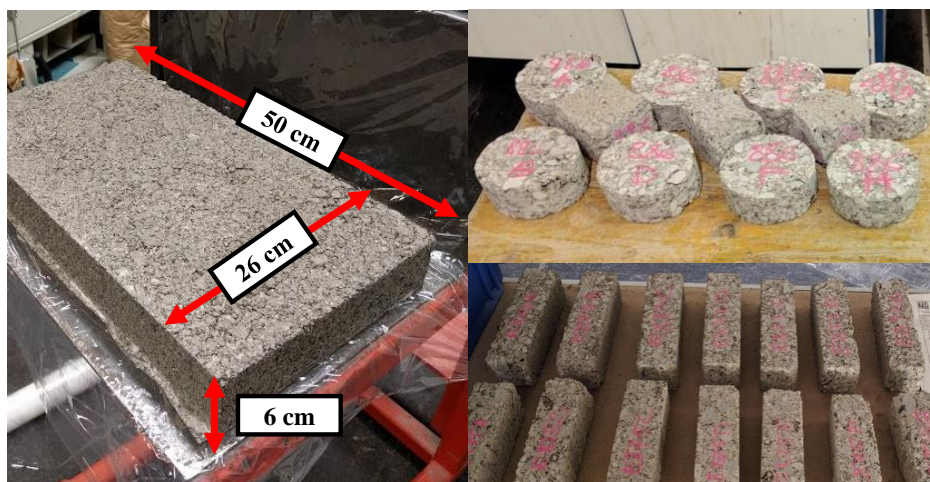
- **Стъпка 3:** От контролното табло се задава целевата височина на плочата и се стартира процеса на уплътняване. Така сегментът започва да се движи вертикално надолу. Когато срещне реакция от 1 kN, уплътнителят започва да се движи заедно с кутията напред-назад. Когато се достигне желаната височина на плочата, местенето на кутията спира автоматично и процеса на уплътняване завършва. След края на програмата за уплътняване валцуващият сегмент се придвижва нагоре и излиза странично от кутията.
- **Стъпка 4:** С помощта на буталото пробата се измества от долната половина на кутията към горната. Горната кутия заедно с готовата асфалтова плоча се отделя от долната и се поставя встрани.

Тъй като тук става дума за циментобетонни смеси, кофражната форма заедно с плочата се увиват със стреч-фолио срещу загуба на влага. Така престояват на стайна температура най-малко 7 дни. След декофриране плочата заедно с подложката се депонират във влажна камера при температура 20 °C. Друга възможност е, плочата да се увие плътно със стреч-фолио и да се остави да набира якост при стайна температура. В случая е приложено увиване със стреч-фолио, вж. фиг. 4.



Фиг. 4. Етапи на отлежаване

2.4.3. Пробни тела



Фиг. 5. Размери на плочата и видове пробни тела

Всяка единична плоча е с размери $50\text{ cm} \times 26\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ и след 60 дни е готова да бъде нарязана на пробни тела. В зависимост от вида на изпитването се използват призми или цилиндри, вж. фиг. 5.

За конкретния случай са предвидени призматични пробни тела с размери $22,5\text{ cm} \times 6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ и цилиндри с диаметър 10 cm и дебелина 6 cm .

2.5. Определяне на плътността

От трите вида уплътнителна работа са налични три групи пробни тела. Както и при асфалтовите смеси, така и в този случай е предвидено етапно изследване. Първоначално се определя специфичната плътност на материала по метода на пикнометъра в съответствие с [8], след което за всяко пробно тяло се определят:

- геометрични характеристики съгласно [9];
- обемна плътност (метод с потапяне под вода) съгласно [10];
- съдържание на въздушни пори съгласно [11].

За определяне на специфичната плътност са проведени общо три измервания, като резултатът е осреднен. Материалът за изпитване е подготвен чрез раздробяване на дадена проба и разпределяне в два пикнометъра, вж. фиг. 6. За всеки пикнометър се пада по около $1,3\text{ kg}$ натрошен материал.



Фиг. 6. Определяне на специфичната плътност

Обемната плътност и остатъчната порестост се изчисляват съобразно геометрията на всяко единично пробно тяло, след което се измерва масата му в три различни състояния: сухо; под вода и водонапито повърхностно сухо, вж. фиг. 7.



Фиг. 7. Измерване на геометрията и теглото на пробно тяло в три състояния

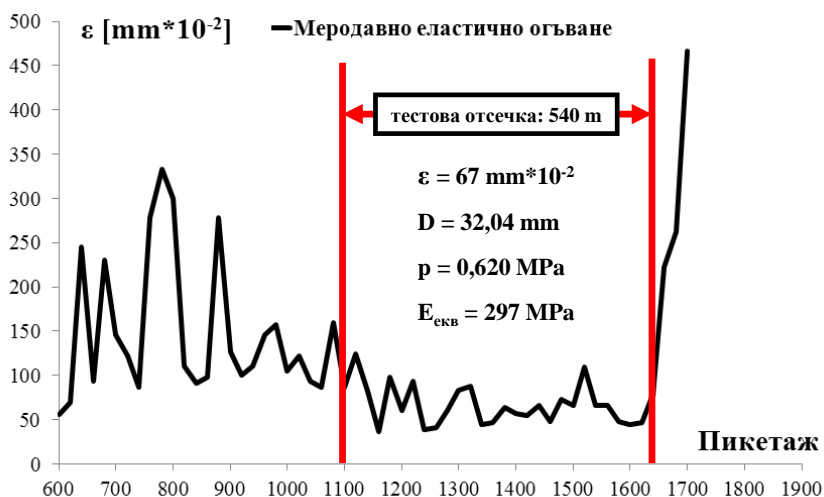
3. Резултати и оценка

Резултатите и тяхната оценка са представени в следния ред:

- полеви анализ;
- обемна плътност и остатъчна порестост (сравнителен анализ).

3.1. Полеви анализ

Полевият анализ за избор на тестов участък е извършен преди изпълнението. Измерено е еластичното огъване на асфалтовата настилка в рамките на цялата пътна отсечка в дясната лента за движение по посока на нарастващия километраж, респ. пикетаж. На фиг. 8 е представена диаграма на еластичното огъване и е маркиран избраният участък.



Фиг. 8. Диаграма на меродавното еластично огъване и тестова отсечка

Настилката за ремонт стартира при пикет 600, а след пикет 1700 няма измервания, поради високата степен на разрушение. Средната стойност на огъването за избрания хомогенен участък, показано на фиг. 8, се явява при коефициент на вариация – 0,34, което е в рамките на допустимото съгласно [12]. Определената обща еквивалентна носимоспособност на настилката е 297 МПа.

В границите на избрания тестов участък, допълнително е измерена носимоспособността на дълбочина 20 cm под асфалтовата повърхност. Както бе упоменато в параграф 2.1, измерването е направено с динамична шампа при пикетни точки 1200 и 1360, а резултатите са представени в табл. 1.

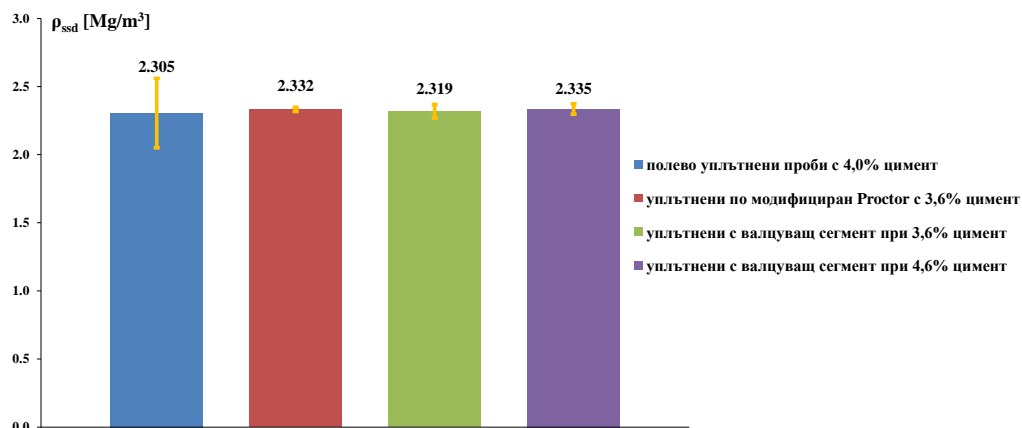
Таблица 1. Резултати за носимоспособността на 20 cm под повърхността

Шурф при пикет:	1200	1360
E_{vd} [MPa]	108,3	120,5
E_{vI} [MPa]	122,9	138,1
$E_{екв}$ [MPa]	245,8	276,2

В заключение към проведеня анализ може да се каже, че измерената носимоспособност на ниво 20 cm под асфалтовата повърхност потвърждава хомогенността на избраната тестова отсечка. Фрезованите 20 cm от съществуващата конструкция въздействат върху общата еквивалентна носимоспособност с около 36 МПа. Това свидетелства за високата степен на разрушение в горните пластове.

3.2. Обемна плътност и остатъчна порестост (сравнителен анализ)

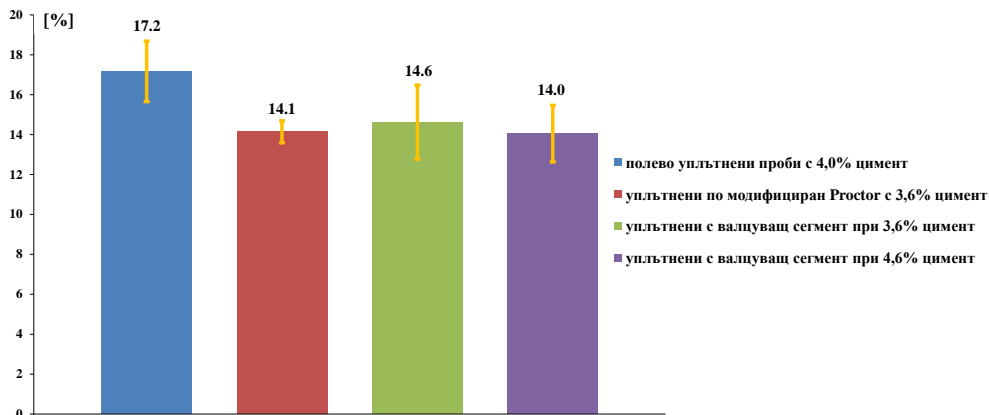
На фиг. 9 и фиг. 10 е представена съпоставката между обемните плътности и съдържанието на въздушни пори, определени от трите метода за уплътнение.



Фиг. 9. Обемна плътност

Поглеждайки фиг. 9 забелязваме, че изчислените средни стойности са много близки една спрямо друга, а разликата между максималната и минималната средна стойност е 30 kg/m³. Плътността на полевите проби е със значително по-голяма разсейка спрямо

лабораторните, което е и очаквано. Съгласно получените резултати не може да се направи генерално заключение във връзка с влиянието на количеството свързващо вещество върху плътността на цименто-стабилизираната смес, но може се каже, че 1% вариация в количеството на цимента няма изразено влияние върху обемната плътност на сместа. Проведеният анализ показва, че при най-неблагоприятното сравнение на средните стойности плътността, получена в полеви условия, е $(2,305/2,335) \cdot 100 = 98,7\%$ от тази, получена в лабораторни условия, което покрива необходимото изискване, вж. [20] и параграф 1.



Фиг. 10. Остатъчна порестост

На фиг. 10 се вижда, че при смесите, приготвени в лабораторни условия, съдържанието на въздушни пори варира между 14% и 14,6%. За смесите, уплътнени при полеви условия (по метода рециклиране на място), остатъчната порестост е с около 3% по-висока от тази в уплътнени в лабораторни условия. Това е така, защото е постигната 98% степен на уплътнение, а не 100%, което е в допуските.

Като извод от представените резултати може да се каже, че постигнатата полева плътност е достатъчно близка до тази, получена при идеални условия, а двата независими лабораторни метода показват почти еднакви резултати. За бъдещи изследвания на смеси с подобен характер уплътняването с валцуващ сегмент може да се приеме за валидно.

Във връзка с метода „валцуващ сегмент“, целевата обемна плътност е по-ниска в сравнение с получените средни стойности. Разликата варира в граници от 20 до 30 kg/m³.

4. Заключение

В рамките на това изследване е анализирана и оценена валидността на лабораторния метод за уплътнение „валцуващ сегмент“ при цименто-стабилизирана смеси с фрезозан асфалт в състава. Съпоставени са проби, уплътнени по три независими метода, два от които в лабораторни условия и един при полеви. Полевите пробни ядки са взети от изпълнен за целта опитен участък от пътя към депо „Перник“. Тестовата отсечка е избрана съобразно предварителен анализ на съществуващата носимоспособност. Едната група лабораторни образци са уплътнени по метода „модифициран proctor“ в съответствие с [1, 6], а другата по метода „валцуващ сегмент“ в съответствие със [7, 17, 18]. На всички проби е определена обемната плътност и остатъчната порестост съгласно [10] респ. [11].

Сравнителният анализ показва, че изчислените средни стойности са много близки една спрямо друга. Разликата между максималната и минималната стойност е 30 kg/m^3 , а плътността, получена при полеви условия, е 98,7% от постигнатата в лабораторни условия. Във връзка с метода „валцуващ сегмент“, целевата обемна плътност е по-ниска в сравнение с получените средни стойности. Разликата е в граници от 20 до 30 kg/m^3 .

В заключение, към проведеното изследване може да бъдат направени следните основни изводи:

- Постигнатата полева плътност е много близка до лабораторната, като степента на уплътнение е по-голяма от 98%.
- Двамата лабораторни метода показват много близки резултати. За бъдещи изследвания на подобни смеси уплътняването с валцуващ сегмент може да се приеме за валидно.
- При метода „валцуващ сегмент“, целевата обемна плътност е по-ниска в сравнение с получените средни стойности. Разликата варира в граници от 20 до 30 kg/m^3 .

Благодарности

Изследването е съвместна разработка на катедра „Пътица“ към Факултета по Транспортно Строителство на УАСГ – София и „Института по Пътица“ към Строителния Факултет на ТУ – Виена, реализирана със съдействието на „Трейс Груп Холд“ АД.

ЛИТЕРАТУРА

1. EN 13286-50:2004: Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 50: Method for the manufacture of test specimens of hydraulically bound mixtures using Proctor equipment or vibrating table compaction.
2. EN 12697-33:2003+A1:2007: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 33: Specimen prepared by roller compactor.
3. RVS 08.03.04: Verdichtungsnachweis mittels dynamischen Lastplattenversuches, Blatt 0.0, FSV 2008.
4. Дончев, М., Михайлов, Н., Блаб, Р. Изследване развитието на якостта във времето при хидравлично свързани смеси с 50% рециклиран асфалт. // XVII международна конференция ВСУ'2017, доклади том II, V: 169-178, ISSN: 1314-071X.
5. Методика за измерване и оценка на носимоспособността на пътните настилки, ГУП 1986.
6. БДС EN 13286-2:2011: Несвързани и хидравлично свързани смеси. Част 2: Методи за изпитване за определяне на стандартна плътност при оптимално водно съдържание в лабораторни условия. Уплътняване по Proctor.
7. <http://www.baustoffpruefsysteme.com/>, посетен на 24.08.2016.
8. EN 12697-5:2011: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 5: Determination of the maximum density.
9. EN 12697-29:2003: Bituminous mixtures – Test method for hot mix asphalt – Part 29: Determination of the dimensions of a bituminous specimen.
10. EN 12697-6:2012: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens.
11. EN 12697-8:2003: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 8: Determination of void characteristics of bituminous specimens.

12. Филипова, В., Бойдев, В., Манчев, В. Ръководство за оразмеряване на асфалтови настилки. ЦЛПМ 2003.
13. БДС 15131:1980: Настилки пътни. Измерване на огъването чрез уреда Бенкелман.
14. EN 12697-30:2012: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 30: Specimen preparation by impact compactor.
15. http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2011/241/pdf/S_48_komplett.pdf, посетен на 13.08.2016.
16. https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_222481.pdf, посетен на 13.08.2016.
17. TP Asphalt-StB Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probeplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV), Ausgabe 2007, FGSV 756/33.
18. RVS 11.06.24: Asphaltprobeplatten / Herstellung mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät, Blatt 0.0, FSV 2012.
19. prEN 12697-33:2017: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 33: Specimen prepared by roller compactor.
20. Техническа Спецификация. Агенция „Пътна Инфраструктура“, 2014.
21. Дончев, М. Изследване влиянието на пясъка и обструйването с пясък върху сцеплението на асфалтобетона. Дипломна работа, ТУ-Виена 2007, УАСГ – София, 2008.

EXAMINING THE VALIDITY OF THE “ROLLER SECTOR” COMPACTION METHOD ON CEMENT-TREATED MIXTURES WITH MILLED ASPHALT

M. Donchev¹, N. Mihaylov², R. Blab³

Keywords: *cold in-place recycling, cement-treated mixtures, volume density, roller sector, modified proctor*

ABSTRACT

Achieving the design density of the mixture on site is very important for the quality and durability of the new road pavements, but is a major problem for pavement repairs using the cold in-place recycling technology. This method is often used in highly damaged asphalt road pavements and the variable construction environment is an inevitable factor with a significant impact on the quality of the execution. The purpose of this study is to prove the validity of the “roller sector” compaction method on cement-treated mixtures with milled asphalt. Subjects of the comparison are: in situ compacted samples compacted via the “modified proctor” method and via the “roller sector” method. The investigated parameter is the volume density of the cement bound mixture.

¹ Marin Donchev, Assist. Eng., Dept. “Road Constructions”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: marin_sd@abv.bg

² Nikolay Mihaylov, Prof. Dr. Eng, Dept. “Road Constructions”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: road.uacg@gmail.com

³ Ronald Blab, Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn., Vienna University of Technology, Institute of Transportation, Research Center of Road Engineering, Gußhausstraße 28/230/3, A-1040, Vienna, e-mail: ronald.blab@tuwien.ac.at