



Получена: 19.01.2024 г.

Приета: 09.02.2024 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПЛЪТНОСТТА НА ФРЕЗОВАН МАТЕРИАЛ ОТ ПЪТНА НАСТИЛКА, СТАБИЛИЗИРАН С HRB 12,5 ПРИ ИДЕАЛНИ УСЛОВИЯ

М. Дончев¹

Ключови думи: фрезован материал, стабилизация на място, хидравлично-стабилизирана смес, HRB 12,5, обемна плътност, валцуване, проктор

РЕЗЮМЕ

Постигането на проектната плътност на сместа в реални (полеви) условия има пряко въздействие и дълготраен ефект върху експлоатационното поведение на полутвърдата пътна настилка. В рамките на това изследване се анализира плътността на традиционно приложима хидравлично-стабилизирана с HRB 12,5 смес и фрезован материал. Сравняват се обемните плътности на проби, уплътнени ударно и чрез валцуване при идеални условия. Целта е да се оцени плътността на изготвените пробни тела по валцуващ метод. Предвид това, че уплътнението чрез валцуване в лабораторни условия все още не е стандартизирано за хидравлично-стабилизираните смеси, доказване на тази валидност е необходима и е от значение при бъдещи механични изпитвания за анализ на експлоатационното поведение на хидравлично-стабилизираната смес, както и в частност за разглежданата тук комбинация с HRB 12,5 и фрезован асфалт.

1. Въведение и проблематика

Стабилизациите при пътните настилки в същността си представляват смеси от минерален състав, обработен със свързващо вещество. Те се използват както при ново строителство, така и при ремонти на пътни настилки, вж. [1]. При ново строителство и реконструкции сместа за стабилизация най-често се произвежда при централизирани

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

условия, вж. [1, 5], а при ремонти се генерира на място при частично или цялостно използване на местния материал, вж. [1 – 4].

Хидравличните свързващи вещества в пътното строителство се прилагат често за стабилизиране на основни пластове на пътните настилки и са предпочитани предвид ниската им себестойност и добрите якостно-деформационни свойства на получения композит. Приложими свързващи вещества на хидравлична основа при пътните настилки са стандартният цимент, вж. [1 – 7, 9], и хидравличното вещество за пътища – HRB, вж. [1, 3, 6, 8 – 10]. На национално ниво от 2014 г. има официални предписания за прилагането на HRB при ремонтите на пътища, вж. [1].

Друг възлов аспект при ремонтите на асфалтови настилки чрез стабилизиране на място е, че в състава на сместа участва и фрезован асфалт. Неговото количество зависи от дебелината на асфалтопакета и дълбочината на фрезоване, вж. [2, 3, 6, 7, 9], и има въздействие върху механичните свойства на сместа, вж. [2, 3]. Освен това ремонтите чрез стабилизиране на място се явяват проблемна област, предвид това, че условията за прилагане на сместа са променливи, същото е валидно и за остатъчната носимоспособност на основата под новоизградения пласт. В резултат, често пъти не се постигат необходимите проектни параметри на усилената пътна настилка и се появяват нежелани повреди и деформации в рамките на проектния експлоатационен живот на ремонтантата настилка. Всяка смес (всеки композит) има своите конкретни физико-механични особености, които в областта на строителните материали и смеси предварително се изследват, установяват и прецизират в лабораторни условия, след което биха могли да бъдат прилагани в практиката. Плътноста е основна физична характеристика на хидравлично-стабилизиращия композит и има пряко влияние върху механичното поведение и дълготрайността на полутвърдата пътна настилка.

2. Цел на изследването

Целта на настоящото изследване е да се анализира плътността на хидравлично-стабилизирана композитна смес със свързващо вещество – HRB 12,5. Този анализ ще разшири спектъра на приносите, получени в [7], предвид това, че тук фокусът е насочен само и единствено върху смес, стабилизирана с хидравлично свързващо вещество – HRB 12,5, което е различно от стандартен цимент – СЕМ II 32,5N. Оценявайки получените резултати за плътността на композита, би могло да се направи извод както за валидността на уплътнението чрез валцуване в идеални условия на сместа с HRB 12,5, така и за годността на пробните тела при бъдещи механични изпитвания с цел анализ на експлоатационното поведение на изследвания тип стабилизиран композит.

3. Методика на изследването

Методиката за настоящото изследване е базирана на приложената в [3, 7]. Изследват се смеси с HRB 12,5, изготвени и уплътнени в лабораторни условия по ударен метод и чрез валцуване. Уплътнението чрез валцуване е стандартизиран метод за асфалтови смеси, вж. [12]. Приложимостта му в областта на хидравличните стабилизации е разгледана в [3, 7], но само за смеси със стандартен цимент.

Методичният подход за това изследване е разпределен в четири последователни стъпки, а именно: Изходни материали; Изготвяне на смеси и пробни тела; Определяне на плътността.

3.1. Изходни материали

Настоящият експеримент е проведен в пътностроителната лаборатория на Техническият университет – Виена (ТУ-Виена), като изходните материали са с произход и доставка от Република България (фрезован материал от асфалтова настилка в експлоатация и хидравлично свързващо вещество – HRB 12,5).

Минералната смес се състои от фрезован асфалт и скален материал в съотношение 1:1 и е със същия произход, като използваната при изследванията, проведени с цимент, вж. [3, 6, 7]. За целите на това изследване е използвано остатъчно (депонирано) количество от тази фрезована минерална смес, добита с фреза миксер (рециклатор) през 2016 г., вж. [3, 6].

Съгласно досегашния опит, необходимото количество фрезован материал за изготвянето на една плоча в лабораторни условия варира в диапазона от 16 до 18 kg. Свързващото вещество е HRB E2 (HRB 12,5) с натискава якост на 28-мия ден най-малко 12,5 МПа, в съответствие с EN 13286-1, вж. [8, 11]. Използваното в рамките на това изследване свързващо вещество – HRB 12,5 – е с произход Девния цимент и е доставено от Вулкан цимент АД – Димитровград, вж. [8].

3.2. Изготвяне на смеси и пробни тела

С доставените материали, в лабораторни условия, се изготвят 2 смеси – с 4,9 % и с 5,9 % по маса количество свързващо вещество – HRB 12,5. От всеки замес се изготвят 2 броя призматични плочи с геометрични размери 500 × 260 × 60 mm, вж. [3, 7], по „метод с използване на сектор от стоманен ваяк“, наричан по-нататък за улеснение „валцуващ сегмент“ и регламентиран в EN 12697-33, вж. [12].

След уплътнителната работа плочите се оставят в кофражната форма да наберат якост най-малко 24 часа, като отворите на кофражната форма се запечатват със стреч-фолио, вж. [3, 7], след което биха могли да бъдат декофрирани и положени в мокро помещение (влажна камера) при влажност на въздуха от 95 %. Преди да бъдат положени във влажната камера, плочите внимателно се опаковат със стреч-фолио и така престояват, докато наберат необходимата якост – най-малко 28 дни, вж. фиг. 1.



Фиг. 1. Опаковани плочи, набиращи якост (ляво – горе) и пряно нарязани призматични пробни тела (дясно – долу) във влажна камера

След минимум 28 дни престой във влажна камера от всяка плоча се изрязват пробни тела (цилиндрични и призматични).

Геометричните размери на призматичните пробни тела съответстват на изискванията, заложи в EN 12697-46, вж. [13]. Съгласно [13] призматичните пробни тела имат квадратно сечение 60×60 mm и максимална дължина 225 mm. На фиг. 2 са показани две плочи, разпределени на призматични пробни тела.



Фиг. 2. Призматични пробни тела за определяне на обемната плътност

От снимката на фиг. 2 се виждат общо по 6 броя пробни тела, но предвид геометричните размери на плочата и пробите от всяка плоча се получават общо по 7 броя призматични пробни тела.

Геометричните размери на цилиндричните пробни тела са в съответствие с EN 12697-26, вж. [14]. Съгласно [14] те имат диаметър 100 mm и дебелина 60 mm. От всяка плоча се изрязват общо по 8 цилиндрични пробни тела, вж. фиг. 3.



Фиг. 3. Цилиндрични пробни тела за определяне на обемната плътност

За целите на сравнителния анализ за оценка на плътността при разглеждания тук тип хидравлично стабилизирана смес са изготвени допълнително няколко референтни цилиндрични пробни тела по метода „модифициран Proctor“ в съответствие с EN 13286-2, вж. [15] и EN 13286-50, вж. [16]. Количеството свързващо вещество на замеса за изготвяне на проктеровите пробни тела е 4,9 %.

3.3. Определяне на плътността

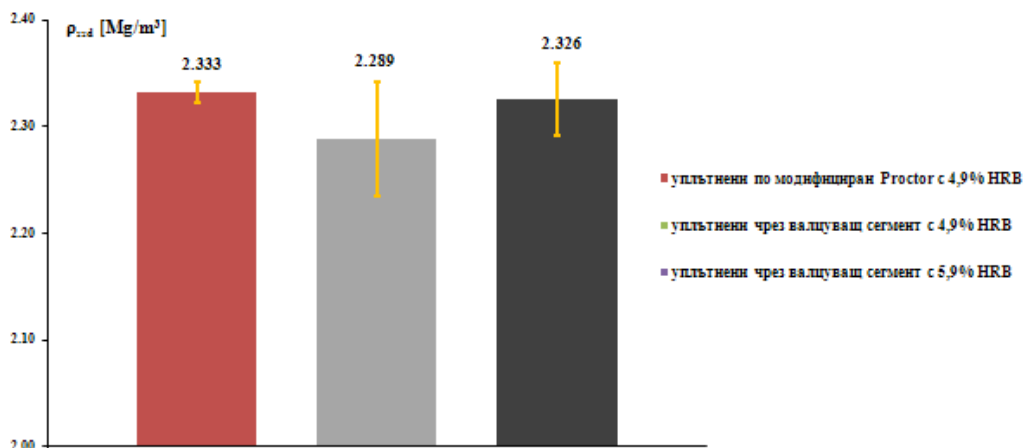
Първоначално се определя специфичната плътност на сместа по метода на пикнометъра в съответствие с EN 12697-5, вж. [17].

За целта, от всяка изготвена смес се отделя проба от около 1,5 kg, като общото количество на замеса е съобразено с необходимостта от отделяне на проба за специфичната плътност. Пробата се оставя да набере якост в насипно състояние поне 14 дни, след което се разтрошава, за да се наруши нейната обща свързаност, при запазване на циментовата обвивка около минералните зърна. За всяка от смесите се правят две единични измервания на специфичната плътност и резултатът се осреднява. Крайният получен резултат за специфичната плътност за сместа с HRB 12,5 е 2,71 Mg/m³. Получената стойност е идентична на тази при циментовите пробни тела, което показва че ефектът на вида и малките разлики при промяната на количеството свързващо вещество е незначителен и би могъл да бъде пренебрегнат. За предстоящия сравнителен анализ специфичната плътност на изследваната тук хидравлично свързана смес се приема 2,71 Mg/m³.

В последствие, съгласно предписанията на EN 12697-6, вж. [18], за всяко пробно тяло се определя обемната плътност и съдържанието на въздушни пори съобразно неговата геометрия и масата му в три различни състояния: сухо; под вода и водонапито повърхностно сухо. Хронологията на процеса по измерване на масите и геометричните размери на пробните тела са добре онагледени в [7].

4. Резултати

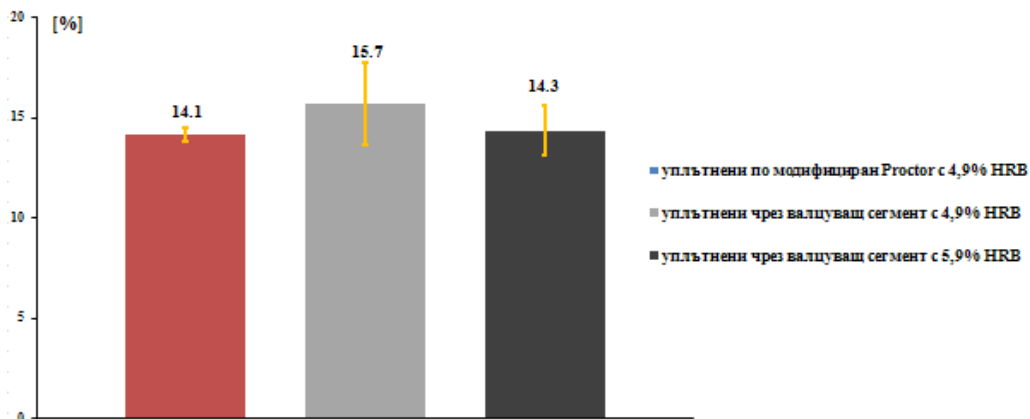
На фиг. 4 и фиг. 5 е представена съпоставката между обемните плътности и съдържанието на въздушни пори (остатъчна пористост), определени от двата метода за уплътнение – „модифициран Proctor“ и „валцуващ сегмент“.



Фиг. 4. Обемна плътност – ρ_{ssd}

От наблюдението на фиг. 4 е видно, че средните стойности са близки една спрямо друга, а разликата между максималната и минималната средна стойност е 44 kg/m³. Обемната плътност на пробите с 4,9 % HRB по метода „валцуващ сегмент“ (светлосивия

стълб на фиг. 4) показва видимо по-ниска стойност и по-голяма разсейка от останалите, което се дължи на няколко единични стойности. Конкретна причина не би могла да бъде посочена, предвид това, че всички плочи са уплътнявани при еднакви условия. Поглеждайки отново към фиг. 4, при възможно най-неблагоприятното сравнение на средните стойности, виждаме, че при валцуването се получава степен на уплътнение – 98 % ($2,289/2,333 \cdot 100$) от уплътнението по проктор. Това показва, че уплътнението по метода „валцуващ сегмент“ за смес с HRB 12,5 е валидно, тъй като удовлетворява изискването за постигане на необходимия коефициент на уплътнение, заложено в [1].



Фиг. 5. Остатъчна пористост [-]

На фиг. 5 се вижда, че съдържанието на въздушни пори варира между 14,1 % и 15,7 %. При смесите, уплътнени чрез валцуване, остатъчната пористост е с 1,6 % по-висока от тази в уплътнени по метода „модифициран Proctor“. Това е така, защото при валцуването е постигната 98 % от плътността по проктор, а не 100 %, което би могло да се каже, че е в рамките на допустимото.

5. Заключение

В резултат от проведеня анализ за плътността би могло да се направи заключение, че постигнатата плътност по метода „валцуващ сегмент“ е близка до идеалната за изследвания тип смес с HRB 12,5 и наподобява уплътнението на валежите в полеви условия. Съгласно получените резултати от това изследване би могло да се направи извод, че уплътнителната работа на валцуващия сегмент при хидравлично свързани смеси с фрезован асфалт и хидравличното свързващо за пътища – HRB 12,5 – е с необходимата точност и бъдещите резултати от механични изпитвания за този тип композитна смес, уплътнена в лабораторни условия чрез валцуване, ще бъдат валидни.

Благодарности

Изследването е проведено и финансирано в рамките на Етап 1 от националната програма „Млади учени и Постдокторанти – 2“. Специални благодарности към ръководството на ЦНИП при УАСГ за осигуряване на необходимия ресурс, с помощта на който изпълнението на първия етап от изследователската програма завърши успешно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tehnicheska spetsifikatsia 2014 na Agentsia patna infrastruktura. <https://api.bg/files/76d648c3eb99ee0436cd7cb144482ac9.pdf>, poseten na 08.02.2023.
2. The WIRTGEN Cold Recycling Manual. <https://www.wirtgen-group.com/en-us/customer-support/training/hands-on-manuals/cold-recycling/>, poseten na 08.02.2023.
3. *Donchev, M.* Dissertation. <https://ras.nacid.bg/dissertation-preview/60084>, poseten na 08.02.2023.
4. Guide to Full-Depth Reclamation (FDR) with Cement. https://www.cement.org/docs/default-source/fdr/guide_to_fdr_with_cement_jan_2019.pdf, poseten na 08.02.2023.
5. *Mihaylov, N. i kolektiv.* Stroitelstvo na avtomobilni patishta, 2021, ISBN 978-619-7573-01-5, <https://institute-tsi.com/conferences/печатни-издания/>, poseten na 08.02.2023.
6. *Donchev, M., Mihaylov, N., Blab, R.* Strength increase investigations for hydraulically bound cold in-place mixtures with 50 % recycled asphalt. // XVII International scientific conference, proceedings Vol. II, V: 169-178, ISSN: 1314-071X.
7. *Donchev, M., Mihaylov, N., Blab, R.* Examining the validity of the “roller sector” compaction method on cement-treated mixtures with milled asphalt. // Annual of UACEG, Vol. 52, Issue 2, 555-566, 2019, ISSN 2534-9759, https://uacg.bg/UserFiles/File/UACEG_Annual/2019/Брой_2/22.pdf, poseten na 08.02.2023.
8. <https://www.heidelbergmaterials.bg/bg/hydraulic-road-binders>, poseten na 08.02.2023.
9. RVS 08.17.01. Mit Bindemittel stabilisierte Tragschichten, Blatt 0.0, FSV 2009.
10. *Donchev, M., Mihaylov, N.* Study the effect of the homogenisation in the cold recycled asphalt pavements treated with hydraulic binders. // XVI International scientific conference VSU'2016, proceedings Vol. II, IV: 295-299, ISSN 1314-071X.
11. BDS EN 13286-1:2022. Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 1: Test methods for laboratory reference density and water content – Introduction, general requirements and sampling.
12. BDS EN 12697-33:2019+A1:2023. Bituminous mixtures – Test method – Part 33: Specimen prepared by roller compactor.
13. BDS EN 12697-46:2020. Bituminous mixtures – Test methods – Part 46: Low temperature cracking and properties by uniaxial tension tests.
14. prBDS EN 12697-26:2018/A1:2022. Bituminous mixtures – Test methods – Part 26: Stiffness.
15. BDS EN 13286-2:2011. Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content – Proctor compaction.
16. BDS EN 13286-50:2006. 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.
17. BDS EN 12697-5:2019. Bituminous mixtures – Test methods – Part 5: Determination of the maximum density.

DENSITY INVESTIGATIONS OF IN-PLACE RECYCLED PAVEMENT MATERIAL STABILIZED WITH HRB 12,5 IN LABORATORY CONDITIONS

M. Donchev¹

***Keywords:** reclaimed asphalt pavement, in-place recycled pavement material, hydraulically stabilized mixtures, HRB 12,5, bulk density, roller compactor, proctor*

ABSTRACT

Achieving the design density of the hydraulically stabilized layer in real (field) conditions has a direct impact and long-lasting effect on the behavior of the semi-rigid reclaimed asphalt pavement. This particular study investigates the design density of a traditionally applicable hydraulically bound mixture with HRB 12,5 and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) material. The main purpose here is to evaluate the density of laboratory compacted samples via a rolling method for the investigated hydraulically bound mixture. The bulk densities of proctor and rolling compacted samples are compared. The laboratory rolling compaction is not a valid (standardized) method for hydraulically bound mixtures until now. The validation of the density results is necessary, especially for future analysis of the mechanical behavior of hydraulically bound mixtures, as well as for the particular combination with HRB 12,5 and RAP material.

¹ Marin Donchev, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Road Constructions and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: marin_sd@abv.bg