

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА РЕИНТЕГРАЦИЯ НА РЕЦИКЛИРАНИ МАТЕРИАЛИ В ПЪТНОТО СТРОИТЕЛСТВО: СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕЖДУНАРОДНАТА И МЕСТНАТА ПРАКТИКА

Галина Демирева¹, Дария Михалева²

OPPORTUNITIES FOR REINTEGRATION OF RECYCLED MATERIALS IN ROAD CONSTRUCTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERNATIONAL AND LOCAL PRACTICES

Galina Demireva, Dariya Mihaleva

Abstract:

This paper explores the technological and economic potential of reintegrating recycled construction materials into road infrastructure, focusing on a comparative analysis between leading international practices and the current situation in Bulgaria. The study examines in detail the application of cold and hot recycling methods, as well as the utilization of alternative raw materials such as Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and Recycled Concrete Aggregate (RCA). Furthermore, the research identifies the main technological, regulatory, and administrative barriers that hinder the widespread implementation of these processes in Bulgaria, specifically within the context of European circular economy requirements. In conclusion, strategic recommendations are proposed to harmonize the Bulgarian regulatory framework with international best practices, aiming to enhance resource and economic efficiency while achieving sustainable development in the road construction sector.

Keywords:

Cold recycling, hot recycling, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Recycled Concrete Aggregate (RCA), road pavement, sustainable construction, regulatory framework

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Европейският съюз поставя ясен фокус върху прехода от линейна към кръгова икономика чрез стратегически рамки като Европейската зелена сделка. Строителният сектор е един от най-големите консуматори на първични суровини и същевременно генерира огромно количество отпадъци. В контекста на пътната инфраструктура,

¹ Галина Демирева, студент, катедра „Строителство на сгради и съоръжения“, Архитектурен факултет, ВСУ „Черноризец Храбър“, Варна, к.к. „Чайка“, ул. „Янко Славчев“ №84, galina.demireva@vfu.bg;
Galina Demireva, student, Construction of Buildings and Facilities Department, Faculty of Architecture, VFU “Chernorizets Hrabar”, Varna, Chayka Resort, 84 Yanko Slavchev Str., galina.demireva@vfu.bg.

² Дария Михалева, доц. д-р инж., катедра Строителство на сгради и съоръжения, Архитектурен факултет, ВСУ „Черноризец Храбър“, Варна, к.к. „Чайка“, ул. „Янко Славчев“ №84, dariya.mihaleva@vfu.bg;
Dariya Mihaleva, assoc. prof. PhD Eng., Construction of Buildings and Facilities Department, Faculty of Architecture, VFU “Chernorizets Hrabar”, Varna, Chayka Resort, 84 Yanko Slavchev Str., dariya.mihaleva@vfu.bg.

реинтеграцията на отпадъчни и рециклирани материали е ключов механизъм за намаляване на въглеродния отпечатък, спестяване на енергия и ограничаване на депонирането.

Развитието на строителната индустрия в рамките на Европейския съюз (ЕС), и по-специално разширяването и модернизирването на пътната мрежа, е централен компонент за насърчаване на устойчив икономически растеж. В допълнение към подобряването на регионалната свързаност, ключовите цели включват създаването на възможности за заетост и прилагането на решения, които са насочени към съвременните климатични, социални и енергийни предизвикателства на целия континент. Строителният сектор играе ключова роля за икономическото възстановяване на ЕС след кризите от последните години (пандемията от Covid-19 и изострената геополитическа обстановка), които предизвикаха глобални смущения във веригите за доставки и енергийните пазари. Този факт подчертава критичното значение на ресурсната независимост.

Предвид европейските директиви и настоящите геополитически събития, технологичните иновации и въвеждането на нови класове материали стават все по-наложителни. В момента строителните дейности са отговорни за **30% от генерираните отпадъци** и формират **9,4% от общия въглероден отпечатък** в ЕС. Производството на основни строителни материали – по-конкретно цимент, стомана, алуминий и пластмаси – допринася за приблизително **15% от всички емисии**, докато сградният фонд представлява **40% от общото потребление на енергия** в Съюза.

Тези фактори обусловиха разработването на предложението за нов Регламент за строителните продукти (Construction Products Regulation – CPR), публикувано на 30 март 2022 г. [1]. Основната цел на този регламент е да подобри функционирането на единния пазар и да насърчи използването на по-устойчиви продукти, съответстващи на приоритетите Европейската зелена сделка, като същевременно гарантира опазването на човешкото здраве и околната среда. Както за нови, така и за съществуващите продукти, регламентът постановява, че при тяхното проектиране и производството трябва да се дава приоритет на максималната дълготрайност, нетоксичност, рециклируемост и пригодност за интеграция в кръговата икономика, като се залага изискването продуктите и материалите да съдържат **минимум 30% рециклирана суровина**.

Целта на настоящата статия е да изследва технологичния потенциал за реинтеграция на рециклирани материали и да идентифицира основните нормативни бариери пред този процес в България, чрез съпоставка с водещи международни практики.

2. МЕТОДОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕН ПРЕГЛЕД НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА РЕЦИКЛИРАНЕ

Методологията на настоящото изследване се базира на сравнителен анализ на действащата нормативна база в България и водещите европейски практики, разгледани през призмата на съвременните технологични методи. В специфичния контекст на пътното строителство основният акцент е поставен върху асфалтобетона и неговите съставни компоненти.

Асфалтобетонните смеси обикновено се състоят от приблизително **95% минерални инертни материали (каменни фракции)** и **5% органично свързващо вещество (битум, вкл. полимермодифициран битум)**. В същността си асфалтобетонът във висока степен отговаря на критериите за рециклируемост и устойчивост, при условие че реологичните свойства на остарелия битум бъдат адекватно възстановени по време на процеса на рециклиране, чрез влагане на подходящи регенериращи добавки (агенти/rejuvenators) [2, 5].

2.1. Алтернативни суровини: RAP и RCA

- **Рециклирана асфалтова настилка (Reclaimed Asphalt Pavement - RAP):** Представява фрезован или разрушен асфалтобетон от съществуващи пътни настилки, който съдържа висококачествени каменни фракции и остатъчен битум. Основното технологично предизвикателство при оползотворяването на RAP е естественото стареене на битума (възникващо в резултат на окисление и втвърдяване с течение на времето), което налага прецизно проектиране на смесите и използване на регенериращи добавки (*rejuvenators*);
- **Рециклиран бетонов добавъчен материал (Recycled Concrete Aggregate - RCA):** Получава се чрез трошене, пресяване и фракциониране на отпадъци от циментобетонни конструкции и елементи. Поради по-високата си порьозност и водопопиваемост в сравнение с естествените инертни материали, RCA намира основно приложение в несвързани основни и подосновни слоеве (трошенокаменни настилки), както и за подобряване и стабилизиране на земното легло.

2.2. Методи за реинтеграция

В съвременната пътностроителна практика се прилагат два основни технологични подхода за рециклиране и оползотворяване, съобразени със заложените високи европейски и национални нормативни цели [6]. Тези методи са насочени главно към обработката на **рециклиран асфалтобетон (RAP)**, получен в резултат на студено фрезоване на компрометирани асфалтови слоеве:

- **Горещо рециклиране (Hot Recycling):** Извършва се в асфалтови заводи (оборудвани с асфалтосмесители със специални паралелни барабани за дозиране на RAP) или директно на пътното трасе. Методът позволява влагането на RAP в горните слоеве на настилка (износващ и свързващ пласт), но е свързан с висок разход на енергия за загряване на материалите;
- **Студено рециклиране (Cold Recycling):** Може да се изпълнява директно на място (Cold In-Place Recycling - CIR) или в стационарни/мобилни смесителни инсталации (Cold Central Plant Recycling - CCPR). При този процес се използват свързващи вещества като битумна емулсия, разпенен битум, цимент или комбинирано хидравлично органично свързващо вещество. Методът е изключително икономичен с нисък въглероден отпечатък.



Фигура 1. Мобилна инсталация - CCPR

- **Рециклиран бетонов добавъчен материал/минерален агрегат (Recycled Concrete Aggregate - RCA):** Получава се чрез специализирано трошене, пресяване и фракциониране на бетонови отпадъци от разрушени съоръжения, бордюри и бетонови елементи.

3. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕЖДУНАРОДНАТА И МЕСТНАТА ПРАКТИКА

Докато водещи европейски държави (като Нидерландия, Германия и Дания) постигат високи нива на оползотворяване на рециклирани материали, като асфалтов гранулат (RAP) и рециклиран бетонов добавъчен материал (RCA), на Балканите и в частност в България, този процес все още среща сериозни технологични, административни и нормативни предизвикателства.

3.1. Международен опит

В редица западноевропейски и скандинавски страни рециклирането на асфалт е утвърдена стандартна практика. В страни като Германия, Дания и Финландия рециклирането на асфалт е стандартна практика, като нивата на повторна употреба на RAP в нови асфалтови смеси надхвърлят 80-90% [4]. Хармонизираните европейски стандарти от серията EN 13108 [7] ясно дефинират изискванията към RAP като съставна част на асфалтовите смеси. Същевременно използването на RCA за изграждане на пътни основи и земно легло е масово регулирано и се насърчава чрез целенасочени икономически механизми, като например налагането на високи такси за депониране на строителни отпадъци.

Нидерландия служи като безспорен еталон за най-добри международни практики в сектора. Въпреки силно ограничения достъп до кариерни скални материали, страната е постигнала **100% рециклируемост на асфалта** и поддържа една от най-висококачествените пътни мрежи в Европа [4]. Подобни високи нива на кръговост се наблюдават във Финландия и Ирландия, докато в Германия и Дания степента на влагане на RAP при производството на горещи асфалтови смеси надхвърля 80-90% [4].

За разлика от тях, страните от Балканския полуостров и някои държави от Централна Европа демонстрират сериозно изоставане. Например, значителна част от фрезования асфалт – между **25% и 28% в държави като Чехия и Словения** – все още се третира като отпадък и се изхвърля на депа или се влага като нискокачествен агрегат за профилиране на банкети и изграждане на временни пътища (*downcycling*). Тази практика води до необратими негативни екологични последици и нерационално разхищение на ценен битумен ресурс. На Балканите нивата на пълноценно оползотворяване на RAP в нови смеси са все още критично ниски и липсва системна отчетност.

3.2. Текуща ситуация в България

В България прилагането на технологии за рециклиране в пътното строителство все още е силно ограничено и фрагментирано. Макар че студеното рециклиране на място (с използване на цимент, битумна емулсия или разпенен битум) се прилага успешно при рехабилитация на второкласни и третокласни пътища от републиканската пътна мрежа за заздравяване на пътната основа, горещото рециклиране с влагане на RAP в нови асфалтови смеси за горните (свързващи и износващи) слоеве остава по-скоро изключение. В масовата практика у нас фрезованият асфалт продължава да се третира като ресурс с ниска стойност или като отпадък. Той често се използва нерегламентирано и без необходимия лабораторен и технологичен контрол – предимно за текущи ремонти и изкърпване на общински пътища, подравняване на банкети или изграждане на временни трасета, което възпрепятства пълноценното му оползотворяване.

Таблица. 1. Сравнителен анализ между българската и международната европейска практика

Показател	България (Текуща практика)	Международна практика (ЕС)/ Държави за пример
Оползотворяване на RAP	Ниски нива; предимно за подравняване на земно легло, банкети и временни пътища (downcycling).	Надвишава 80% до 100%; директно влагане в основни и свързващи асфалтови пластове (Нидерландия, Германия).
Рециклиран бетонов агрегат (RCA)	Използва се основно за несвързани слоеве, обратни насипи, банкети и селски пътища.	Стандартизирано влагане в свързани и несвързани пътни основи за тежкотоварно движение след циментова/битумна стабилизация (Нидерландия, Германия, Италия).
Методология за проектиране	Рецептурен подход - строго дефинирани твърди процентни ограничения в нормативната уредба.	Експлоатационен подход - изпитване на устойчивост на коловозообразуване, умора и модул на еластичност (Нидерландия, Германия, Дания).
Прилагане на регенериращи добавки (rejuvenators)	Спорадично, предимно с експериментален характер; липса на нормативно насърчаване.	Стандартизирана практика за възстановяване на вискозитета и свойствата на остарели (вкл. полимер-модифицирани) битуми (Нидерландия, Германия).
Ниво на внедряване	Ограничено - предимно в рамките на пилотни, демонстрационни проекти или локални ремонти	Широко и масово приложение (в Германия и Дания над 80%, във Финландия и Ирландия до 100%).
Нормативна база	Ограничена и консервативна, разчита се на остарели или твърде стриктни технически спецификации.	Добре развита, хармонизирана с Регламента за строителните продукти (CPR) и серията стандарти EN 13108.
Иновации и научни разработки	Успешни иновации в български университети (напр. нетоксични модификатори като „Frezobit R“ и „Frezobit N“), но с трудности при реалното внедряване поради административни пречки.	Масово индустриално приложение на битумни регенериращи агенти за пълноценно възстановяване на RAP.

4. НОРМАТИВНИ, ТЕХНОЛОГИЧНИ И АДМИНИСТРАТИВНИ БАРИЕРИ В БЪЛГАРИЯ

Въпреки, че българската нормативна уредба изисква високи проценти на оползотворяване на строителните отпадъци, в реалната строителна практика се наблюдава сериозен консерватизъм. Проектирането на асфалтови смеси у нас все още масово разчита

на стриктни рецептурни спецификации (*prescriptive specifications*), които поставят твърди административни ограничения върху допустимия процент за влягане на рециклирани материали в новите настилки, без да се отчитат реалните им експлоатационни качества.

Основният нормативен стълб в българското законодателство по отношение на управлението на отпадъците от строителство и разрушаване (ОСР) е *Наредбата за управление на строителните отпадъци и за влягане на рециклирани строителни материали*. Съгласно действащите разпоредби, при изготвянето и одобряването на инвестиционни проекти за обекти от транспортната инфраструктура, инвеститорът е задължен да приложи и План за управление на строителните отпадъци (ПУСО).

Според нормативната рамка оползотворяването на тези отпадъци трябва да достига нива между 70% и 80% от общата им генерирана маса в рамките на конкретния проект [6]. В масовия случай обаче, това изискване се изпълнява чрез насочване на материалите към дейности с ниска добавена стойност (*downcycling*) – предимно за изпълнение на обратни насипи, подобряване на земното легло или изграждане на най-долните конструктивни пластове на пътната настилка, към които се предявяват минимални експлоатационни и якостни изисквания.

Въз основа на прегледа на действащата нормативна база у нас се идентифицират три основни групи бариери:

□ **Техническа спецификация на Агенция „Пътна инфраструктура“ (ТС на АПИ, 2025 г.) [8]:**

Критичната точка в местната практика настъпва при прехода от теоретичните нормативни цели към реалното им инженерно изпълнение. Макар актуалната ТС на АПИ (2025 г.) да въвежда осъвременени критерии за качеството на вляганите материали в републиканската пътна мрежа, изискванията за рециклирани материали в асфалтовите смеси за натоварено движение остават консервативни:

- **Рециклиран бетонов добавъчен материал (RCA):** Поставят се ясни изисквания за физико-механичните показатели (гранулометричен състав, коефициент на износване по Лос Анджелис). Поради по-високата водопопиваемост на рециклирания бетон спрямо естествените скални материали, масовото му приложение у нас остава ограничено предимно до трошенокаменни основи на пътища с нисък клас на движение;
- **Студено рециклиране на място (Cold In-Place Recycling - CIR):** Регламентират се изискванията към хидравличните и битумните свързващи вещества (битумна емулсия или разпенен битум) за стабилизиране на пътната основа и земното легло;
- **Горещо рециклиране (Hot-Mix Asphalt Recycling):** Дефинират се лимити за максималното допустимо количество на RAP в новите асфалтови смеси в зависимост от технологичния капацитет на асфалтовите бази (напр. наличие на паралелен барабан).

□ **Наредба за управление на строителните отпадъци и за влягане на рециклирани строителни материали (НУСО) [6]:**

Въпреки че наредбата определя количествени цели за степента на оползотворяване на строителни отпадъци, липсват работещи механизми за ефективен контрол върху тяхното изпълнение. Съществува сериозна нормативна празнота относно прилагането на критериите за отпадане на статуса на отпадък (*end-of-waste criteria*). Това прави преминаването на рециклирания материал от статус "отпадък" в статус "строителен продукт" административно сложно и свързано с правна несигурност за изпълнителите.

□ **Ръководство за оразмеряване на пътни настилки [9]:**

Действащата методика за оразмеряване (включително прилаганите еластични модули и коефициенти на леглото) е остаряла и не отчита в пълна степен специфичното

физико-механично поведение на пластове, изпълнени чрез студено рециклиране или с високо съдържание на RCA.

За разлика от българския подход, водещите международни практики (Нидерландия, Германия и др.) използват спецификации, базирани на експлоатационни показатели (performance-based specifications). Този подход оценява реалното поведение на настилка (устойчивост на коловозообразуване, съпротивление на умора и модул на еластичност), което позволява влагането на RAP в структурните слоеве да надвишава 50%. Това се постига чрез прилагането на регенериращи добавки (rejuvenators) от ново поколение (напр. базирани на биомасла модификатори от типа на „Frezobit“), които ефективно възстановяват вискозитета и еластичността на остарелия битум.

5. СТРАТЕГИЧЕСКИ ПРЕПОРЪКИ ЗА БЪЛГАРСКАТА ПРАКТИКА

За преодоляване на констатираните дефицити и хармонизиране на местната практика с европейските изисквания за кръгова икономика се предлагат следните мерки:

1. **Актуализация на техническите стандарти и ръководства:** Преразглеждане на Ръководството за оразмеряване на пътни настилки и Техническата спецификация (ТС) на АПИ с цел въвеждане на ясни разчетни характеристики (модули на еластичност, якостни показатели) за материалите, съдържащи RAP и RCA, както и преминаване към подход, базиран на експлоатационните показатели (performance-based approach);
2. **Облекчаване на процедурата за „отпадане на статуса на отпадък“ (end-of-waste):** Разработване на ясни национални критерии, чрез които рециклираният асфалт и бетон да придобиват безпрепятствено статут на строителен продукт с маркировка "CE" съгласно Регламент (ЕС) № 305/2011;
3. **Въвеждане на „зелени“ обществени поръчки:** Нормативно залагане на изискване в тръжните процедури за рехабилитация на пътната инфраструктура, които да задължават инвеститорите и изпълнителите да използват технологии за рециклиране (напр. изискване за минимум 20-30% влагане на RAP или прилагане на студено рециклиране на място – CIR), когато състоянието на съществуващата настилка го позволява;
4. **Стимулиране на иновациите:** Оказване на институционална подкрепа за внедряването на съвременни битумни регенериращи добавки (rejuvenators) и биобазирани модификатори, разработени в българските академични среди. Тези иновации доказано възстановяват свойствата на остарелия битум и подобряват дълготрайността на рециклираните смеси.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реинтеграцията на отпадъчни строителни материали в пътното строителство в България притежава огромен, но все още нереализиран потенциал. Преодоляването на нормативния консерватизъм и премахването на съществуващите административни бариери са ключови стъпки за трансформирането на пътния сектор от линеен консуматор на първични ресурси в устойчив кръгов модел. Хармонизирането на българската инженерна и законодателна практика с утвърдените международни примери не само ще доведе до значителни икономически ползи и дългосрочна оптимизация на разходите за поддръжка на инфраструктурата, но и ще гарантира изпълнението на ангажиментите на страната към европейските цели за устойчиво развитие, въглеродна неутралност и ресурсна ефективност.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Европейска комисия, Предложение за Регламент на Европейския парламент и на Съвета за определяне на хармонизирани условия за предлагането на пазара на строителни продукти, за изменение на Регламент (ЕС) 2019/1020 и за отмяна на Регламент (ЕС) № 305/2011, COM(2022) 144 final, Брюксел, 2022.

[2] Plati C., Sustainability factors in Pavement Materials, Design, and Construction, Pavement Engineering Journal, 2019.

[3] Регламент (ЕС) № 305/2011 на Европейския парламент и на Съвета от 9 март 2011 г. за определяне на хармонизирани условия за предлагането на пазара на строителни продукти (CPR).

[4] European Asphalt Pavement Association (EAPA). Asphalt in Figures, Annual Industry Report, 2022.

[5] Zhou F., S. Hu, G. Das, T. Scullion, High RAP mixes design methodology with balanced performance, Texas Transportation Institute, 2011.

[6] Наредба за управление на строителните отпадъци и за влягане на рециклирани строителни материали, Приета с ПМС № 267 от 05.12.2017 г., обн. ДВ. бр. 98 от 2017 г.

[7] БДС EN 13108 Асфалтови смеси. Изисквания за материалите (Серия европейски стандарти).

[8] Агенция „Пътна инфраструктура“ (АПИ), Техническа спецификация за изпълнение и приемане на строителни и монтажни работи по пътищата, София, 2025.

[9] Изпълнителна агенция „Пътища“, Централна лаборатория по пътища и мостове, Ръководство за оразмеряване на асфалтови настилки, София, 2002.