

## **ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА СТРОИТЕЛНИ ОТПАДЪЦИ ОТ МИНЕРАЛНА ВАТА**

**Даниел Евлогиев<sup>1</sup>, Румяна Захариева<sup>2</sup>**

### **OPPORTUNITIES FOR RECOVERY OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE FROM MINERAL WOOL**

**Daniel Evlogiev<sup>1</sup>, Roumiana Zaharieva<sup>2</sup>**

#### **Abstract**

*Mineral wool, glass wool and stone wool, (MW) is a very good heat and sound insulation material, the use of which is constantly growing due to the ever-increasing share of drywall systems and requirements for energy efficiency of buildings. These processes lead to the generation of significant amounts of construction waste. MW waste is also released during the rehabilitation and demolition/dismantling of buildings and facilities. However, MW construction and demolition waste (MWCDW) belongs to the subgroup of insulating materials of the construction and demolition waste (CDW) stream, for which in Bulgaria there are no specific requirements for its material recovery. The MWCDW is managed inefficiently – it is not collected separately and is not recycled, thus the mineral and energy resources, related to the production of MW are wasted completely. The present study aims to outline, based on an analysis of world best experience, the possibilities for utilization of MWCDW in Bulgaria. Various aspects are considered: sources and amount of MWCDW, presence of unwanted impurities and harmful substances, good practices in separate collection and recovery, logistical challenges. It was found that there are a number of opportunities for MW recycling : in the production of glass and foamed glass, cement based materials and wood-polymer composites, as an additive in the production of ceramics and as a raw material for geopolymers. Some MWCDW may also be prepared for reuse. Therefore, unlike the most mineral CDW, which are downcycled, the recovery of MWCDW fits into the best models of the circular economy - recycled materials are used as raw material in similar or even upcycled applications than originally used.*

**Keywords:** *CDW, Glass wool, Stone wool, Toxicological aspect, Recovery, Recycling*

<sup>1</sup> Даниел Евлогиев, д-р инж., Пост-докторант по проект BG05M2OP001-1.002-0019, Строителен факултет, УАСГ, гр. София - 1046, бул. Христо Смирненски № 1, E-mail: [d.evlogiev\\_fce@uacg.bg](mailto:d.evlogiev_fce@uacg.bg);

Daniel Evlogiev, PhD Eng., Postdoctoral researcher within project BG05M2OP001-1.002-0019, Faculty of Structural Engineering, UACEG, Sofia - 1046, 1 Hristo Smirnenski Blvd, E-mail: [d.evlogiev\\_fce@uacg.bg](mailto:d.evlogiev_fce@uacg.bg)

<sup>2</sup> Румяна Захариева, доц. д-р инж., катедра “Строителни материали и изолации”, Строителен факултет, УАСГ, гр. София-1046, бул. Христо Смирненски № 1, E-mail: [zaharieva\\_fce@uacg.bg](mailto:zaharieva_fce@uacg.bg);

Roumiana Zaharieva, Assoc. Prof. PhD. Eng., Department of Building Materials and Insulations, Faculty of Structural Engineering, UACEG, Sofia-1046, 1 Hristo Smirnenski Blvd, E-mail: [zaharieva\\_fce@uacg.bg](mailto:zaharieva_fce@uacg.bg)

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Минералната вата (стъклена, каменна или шлакова) (MW) е сред най-използваните изолационни материали - има 60% пазарен дял сред изолационните материали в световен мащаб [1], тъй като се употребява както за топло- и звукоизолация, така и за противопожарна защита.

По тази причина, строителните отпадъци от минерална вата (СОМВ) представляват сериозен отпадъчен поток, чието количество нараства през последните години и поради повишаване на изискванията за енергийна ефективност на сградите и за акустичен комфорт [2], [3]. Икономическият модел, прилаган доскоро и базиран на линейния процес „потребление на ресурси-използване-образуване на отпадъци-депонирание“, не е устойчив и затова в Европейския съюз са разработени редица стратегии за преминаване към кръгов модел (кръгова икономика) [3], предполагащ намаление на потреблението на природни суровини и на образуването на отпадъци и по-добро оползотворяване на отпадъците (чрез подготовка за повторна употреба и рециклиране), позволяващо по-дълго запазване на стойността на продуктите.

Рамковата директива за управление на отпадъците [4] изискваше към 2020г. да бъдат оползотворени най-малко 70% от строителните отпадъци. За повечето европейски страни това е постигнато, но най-често посредством оползотворяване на т.нар. минерални отпадъци (бетон, керамика, скални материали, асфалтобетон, стъкло), при това в приложения от по-нисък клас (т.нар. *downcycling*), като влагане в обратен насип и използване в подосновни материали в пътното строителство [4]. Тези приложения не са кръгови, защото функционалността на рециклираните материали се различава от тази на първичните продукти и стойността им става по-ниска. Стремещт трябва да бъде към приложения от същия или по-висок, клас (т.нар. *recycling* и *upcycling*), както и към обхващане на повече отпадъчни потоци, вкл. и тези от изолационни материали.

Потенциалът за оползотворяване на СОМВ остава неизползван. Счита се, че СОМВ се характеризират като трудни за повторна употреба и са с ниска степен на рециклируемост. Има само отделни и сравнително ограничени, приложения на рециклиране на СОМВ като фин пълнител при бетони и разтвори, влакнеста армировка при циментови и асфалтови смеси и добавка при производството на керамика [5], [6].

Настоящата публикация цели да очертае, въз основа на анализ на световния опит, възможностите за оползотворяване на СОМВ в България. Разгледани са различни аспекти: източници и количество на СОМВ, наличие на нежелани примеси и вредни вещества, добри практики по разделно събиране и оползотворяване, логистични предизвикателства.

## 2. ОСОБЕНОСТИ НА ОТПАДЪЦИТЕ ОТ МИНЕРАЛНА ВАТА

### 2.1. Източници и количества

Съгласно [2], СОМВ са около 0,2% от количеството на всички генерирани строителни отпадъци. Прогнозите за 28-те страни-членки на ЕС сочеха, че през 2020 г. СОМВ ще са достигнали около 2 500 000 тона [2], като от тях около 800 000 тона са отпадъците от стъклена вата [7].

За България няма статистика на количествата на СОМВ, но въз основа на средните количества на жител за една година в Европа, очакваните количества са около 35 000 ÷ 40 000 тона на годишна база [2].

Основният източник на СОМВ са процесите на разрушаване на сгради и съоръжения [6]. В миналото, основните приложения на MW бяха свързани с промишлените предприятия В промишлените предприятия и прилежащата им инфраструктура MW е била използвана предимно за изолация на тръбопроводи и за топлоизолация в предварително изготвени панели. Може да се очаква СОМВ да са предимно с произход

продукти, които са били произвеждани в България – между 60-те и 90те години на XX век е произвеждана стъклена вата в завод „Коста Стоев“ – Габрово (сега предприятие "СИМАТ"АД). До 90те години е била произвеждана и каменна (мергелна) вата в завод в гр. Полски Тръмбеш, който след приватизация бива затворен.

Строителните продукти от MW се отличават с изключително многообразие – фиг. 1 и фиг.2.



Фигура 1. Продукти от каменна вата [8]



Фигура 2. Приложения на стъклена вата [9]

Широкото приложение на MW предполага различно качество на СОМВ – някои могат да имат примеси от циментови разтвори и други обмазки, други могат да бъдат каширани с геотекстил, битумни мушамы или алуминиево фолио, трети могат да имат примеси от останалите компоненти на системите за сухо строителство (гипсови плоскости, метали) и т.н. – фиг. 1 и фиг. 2.

Вторият голям източник на СОМВ е новото строителство. СОМВ се образуват и при процесите на поддръжка, основен ремонт и премахване на сгради и съоръжения. Понастоящем, основните приложения на MW са при системите за сухо строителство, фасадна топлоизолация, термопанели и системи за пожарозащита. MW за ново строителство, поддръжка и ремонт е предимно вносна, но през 2021 г. групата FIBRAN придоби собствеността върху новопостроен завод за каменна (базалтова) вата край Павликени, което вероятно ще повиши делът на каменната вата сред изолационните материали у нас.

Следователно, СОМВ имат разнородни източници, отличават се с хетерогенност, продикувана от техния произход, състав, структура и приложение, което води до необходимостта от прилагане на специфичен подход при управлението на тези отпадъци.

## 2.2. Химичен и минерален състав

Стъклената и каменната вата имат различен произход и химичен състав [7]. Каменната вата (SW) може да бъде на базата на мергели (мергелна вата), базалт (базалтова вата) и др. Шлаковата вата (от доменна шлака) също понякога бива означавана като „каменна“. Химичният състав на стъклената вата (GW) също е различен и може да варира в определени граници [10]. Типичен състав на SW и GW е обозначен в табл. 1. Основният компонент в каменната и стъклената вата е  $\text{SiO}_2$ . Стъклената вата има малко по-високо съдържание на  $\text{SiO}_2$ , докато каменната вата съдържа повече оксиди на алкалоземните метали, а железните оксиди ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ѝ придават по-тъмен цвят и по-висока устойчивост на

топлина. В [11] също е установено, че в сравнение с каменната вата, стъклената вата съдържа по-малко CaO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, но относително по-голямо количество SiO<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>O, като последният оксид в някои случаи достига 16% по маса. Химическият състав на стъклената вата е доста близък до този на стъклените влакна, които се използват при различни композитни материали.

Таблица 1. Химичен състав на минералната вата съгласно [10].

Вид вата	Химичен състав, %											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Стъклена вата	56,89	3,47	0,12	0,57	0,18	0,56	12,61	3,61	1,49	12,86	1,36	6,00
Каменна вата	46,43	11,42	1,47	4,41	4,72	0,23	17,89	9,24	0,11	3,07	1,01	0,00

Съставът на MW сочи, че тя може да притежава пуцоланови свойства, тъй като е близък то този на други пуцоланови добавки като летяща пепел и смяна гранулирана доменна шлака (GGBS) [6].

Освен неорганичните оксиди, каменната и стъклената вата съдържат органични свързващи вещества, обикновено около 5%÷10% масата на продукта [6]. Фенол-формалдехидните или фенол-формалдехид-карбамидните смоли са най-често използваните свързващи вещества. Прилагат се и други, като натриеви силикати, полиестери, меламина-карбамид-формалдехид, полиамиди и фуранови смоли. Освен смола, свързващите вещества може да съдържат и други добавки за осигуряване на желаните свойства, например инхибитори за забавяне на горенето, платификатори, пигменти и др.

Следователно, MW съдържа инертни и активни компоненти по отношение на реактивоспособност, инертни и неинертни вещества по отношение на околната среда, както и вещества с определено токсично въздействие върху човешкото здраве.

### 2.3. Здравни и екологични аспекти

Поради преобладаващо минералния характер на стъклената и каменната вата, се счита, че СОМВ са инертни и могат да бъдат депонирани безпроблемно. Според [3], трябва да се ограничи депонирането на отпадъците от MW и да се избягва замърсяването на околната среда вследствие изхвърлянето им. Като цяло, депонирането на строителни отпадъци води генерирането на 3% ÷ 4 % от общото количество парникови газове [3]. У нас не са правени изследвания за характера на СОМВ и за състава на водния извлек, от гледна точка на изискванията на Наредба № 6 за депата [12] за класифицирането на СОМВ като инертни, неопасни или опасни за околната среда.

От друга страна, СОМВ могат имат и други токсични свойства за хората, свързани с биоразградимостта на влакната в човешкото тяло. MW се счита за потенциално канцерогенна поради сходството на влакната ѝ с азбестовите влакна. Диаметърът на влакната от MW може да варира, обикновено е между 0,2 μm и 20 μm. Отлагането в дихателните пътища на вдишвани влакна е функция на техните физически характеристики (размер, форма и плътност). Влакна с диаметър под 3,5 μm и дължина над 5 μm, със съотношение дължина към диаметър ≥ 3, могат да се отлагат в алвеоларната област на белите дробове [6]. MW, обаче, има по-ниска биоустойчивост и се отстранява по-бързо от белите дробове от азбеста. Според [6] продуктите от MW, произведени след 1998 г., имат по-висока биоразградимост от тези, произведени преди 1998 г. Не е доказано безусловно, че излагането на MW е свързано с риск от рак на белия дроб.

## **2.4. Управление на СОМВ**

Влакната на MW имат различен химичен състав, обработвани са с различни органични свързващи вещества, а по време на експлоатация в строежите MW може да бъде замърсена с други опасни вещества (например, при контакт с азбесто-съдържащи материали, петролни продукти и химикали), поради което съществуват редица предизвикателства за нейното правилно охарактеризиране като отпадък. Понастоящем, СОМВ не се класифицират като опасни строителни отпадъци, ако не са замърсени с опасни вещества, но е необходим специфичен подход при управлението на СОМВ, отчитащ вида на влакната (мергелни, базалтови, стъквени, шлакови), вида на свързващото вещество, източника (експлоатационните условия, период на производство на ватата) на СОМВ и др.

Неопасните отпадъци от стъклена вата могат да бъдат класифицирани като промишлени отпадъци с код 10 11 03 (отпадъчни материали на основата на стъквени влакна), когато са с произход топлинна изолация на индустриални съоръжения или като строителни отпадъци с код 17 06 04 (изолационни материали) [11]. Отпадъците от каменна вата следва да бъдат класифицирани с код 17 06 04. Когато MW съдържа опасни вещества, СОМВ следва да бъдат класифицирани с код 17 06 03\* (други изолационни материали, състоящи се от или съдържащи опасни вещества).

Наредбата за управление на строителните отпадъци и влагане на рециклирани строителни материали (НУСОВРСМ) [13] не разглежда СОМВ сред приоритетните отпадъчни потоци, за които се изисква постигане на определена степен на оползотворяване. По тази причина, СОМВ не се събират разделно и най-често биват депонирани на депа за битови отпадъци. В действителност СОМВ представляват сериозен минерален ресурс. В т.3 са разгледани множество възможности за тяхното оползотворяване.

За икономически изгодно и екологосъобразно оползотворяване на СОМВ е задължително да се осигури тяхното разделно събиране. То, обаче, е възпрепятствано от липсата на материален интерес при изпълнителите на СМР и разрушаване (таксите за депониране са сравнително ниски), както и от редица логистични предизвикателства – СОМВ са леки, но обемни отпадъци, образуват се в сравнително малки количества по маса, но на множество площадки на строителство, ремонт и разрушение, което води до оскъпяване на транспорта им до инсталации за третиране или до производители на строителни продукти, в които СОМВ могат да се използват като суровина.

## **3. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА СОМВ**

### **3.1. Подготовка за повторна употреба**

Съгласно йерархията на управление на отпадъците [13], най-висок приоритет сред дейностите по управление на отпадъците следва да се дава на предотвратяване образуването на отпадъци и на подготовката за повторна употреба.

Някои от приложенията на MW позволяват демонтаж и запазване на характеристиките на продуктите, например плочи и рула, които са монтирани в скара, изолация на тръбопроводи с кори, които са пристегнати със скоби и др.п. Биха могли да се прилагат сравнително опростените методи за подготовка за повторна употреба, включващи изрязване на повредени участъци, определяне на базови експлоатационни показатели като обемна плътност като ориентир за останалите важни експлоатационни свойства като коефициент на топлопроводност, деформируемост/якост или звукоизолационна способност.

### 3.2. При производството на минерална вата

На теория, рециклирането на COMB за същите цели като първоначалния продукт, което да се извършва от производителите на MW, е възможно. На практика се рециклират само отпадъци от MW, получени при нейното производство, например изрезки или несъответстващи продукти, т.е. този тип рециклиране се прилага само към т.нар. “pre-consumer” отпадъци от MW, защото е известен техният състав и производственият процес може да бъде контролиран адекватно. COMB, обаче, представляват “post-consumer” отпадъци от MW. При тях, дори да е известен съставът (например, при прилагане на високоразвити системи за проследимост на отпадъка и разделно събиране), съществува риск от наличие на примеси и замърсявания. Отстраняването на тези нежелани компоненти оскъпява производствения процес и поставя редица технологични предизвикателства. У нас проблемът се усложнява от факта, че старата вата българско производство е мергелна, докато новият завод произвежда базалтова вата. На пазара от много години има сериозна конкуренция и се предлагат продукти от каменна вата на множество производители, а проследимостта на произхода и състава на COMB са почти невъзможни. Няма производство на стъклена вата.

### 3.3. При производството на керамика

Има редица изследвания относно възможността за употреба на отпадъци от стъклена вата (GW) като топители (флюсиращ агент) при производството на керамика на основата на каолининова глина и промишлени отпадъци като кварц-фелдшпатов пясък (QFS) и медна шлака (CS). Добавянето на стъклена вата към CS повлиява положително якостта на натиск - до 45, 60 и 75 МПа след нагряване (синтероване) при 750 °С, 850 °С и 950 °С, съответно. При каолининовите глинени нарастването на якостта в резултат на използването на около 10% GW е около 2 пъти. Подобно на якостта на натиск, якостта на огъване също се увеличава с използването на стъклена вата, поради повишеното образуване на течна фаза по време на синтероването. Водопоглъщането на съставите (особено тези с QFS), съдържащи стъклена вата, намалява с повишаване на температурата на синтероване и варират от 35% при 750 °С до 2% при 950 °С [7].

Наличието на Na<sub>2</sub>O в отпадъците от GW води до повишаване на механичните свойства на строителната керамика, подложена дори на нискотемпературно изпичане. Механичните свойства на повечето зидарийни тела, при чието производство е използвана отпадъчна GW, удовлетворяват изискванията на американския стандарт ASTM C62 [14] за зидарийни тела за направата дори на носеща зидария (якост на натиск над 20 МПа) [7].

В [11] е потвърдена ролята на стъклената вата като топители при използването на QFS, но се подчертава и възможността да се влияе върху поровото пространство - микроструктурата на подготвената керамика се влияе от предварителната обработка на стъклената вата, съдържанието на стъклена вата и температурата на нагряване (синтероване); добавянето на стъклена вата предизвиква образуването на затворени пори. Ако GW се смели предварително на прах, порите имат по-правилна микроструктура със сферични пори. Размерът на порите се увеличава с увеличаването на ватата в сместа, като най-големите пори имат диаметър от около 300 μm. Образуването на стъклена фаза от относително ниската температура от 750 °С се приписва на увеличаването на дела на мрежовите модификатори като CaO и главно Na<sub>2</sub>O, които функционират като флюсиращи агенти. Резултатите показват, че GW има ефект на флюс, сравним с този на някои търговски флюсиращи агенти. Ефектът на стъклената вата е значителен при около 10 % (по маса), но увеличаването до около 40 % благоприятства постигането на добри механични свойства при значително по-ниска енергоемкост на производството.

### **3.4. За производство на керамична пяна/пеностъкло**

В изследване, представено в [15], се дискутира положителният ефект от използване на отпадъчно стъкло и MW, за намаляване на консумираната енергия при производството на пеностъкло. Оптимални резултати се постигат при съдържание на 40 % отпадъци от MW и температура на нагриване (синтероване) от 800 °C. Образецът, синтерован при това оптимално състояние, има най-равномерна структура на пяната и ниска обемна плътност (около 0,7 g/cm<sup>3</sup>), което го прави добър топлоизолационен материал.

Друго потенциално приложение на отпадъците от MW е за производство на керамична пяна [5]. Най-добри характеристики на керамичната пяна (плътност от 0,71 g/cm<sup>3</sup>) се получават при влагането на 40 % отпадъци от MW и синтероване при 1170 °C.

### **3.5. За производство на циментови композити**

Циментовите композити са основното направление за оползотворяване на отпадъци от MW [6]. Тя се ползва като частичен заместител на инертни пълнители [3], влакнеста армировка [2] или пуцоланова добавка [4].

Отпадъците от GW се рециклират като рециклирани стъклени ултрафини (RGU) частици, а тези от каменна вата (SW) - като рециклирани минерални влакна (RMF). При влагането им в количества съответно 3% и 0,5% се постига увеличаване на якостта на огъване и, в по-малка тепен, якостта на опън, но се понижава леко якостта на натиск, поради влошена обработваемост на смесите. Отлични експлоатационни свойства се постигат и при бетони със 75% рециклирано съдържание, които наред с RGU и RMF включват голямо количество рециклирани едри и дребни добавъчни материали [4].

В [16] са представени данни за огнеустойчивостта на циментовите разтвори с рециклирани влакна от СОМВ. Най-голям е положителният ефект върху якостта на опън при огъване след огневото въздействие и за запазване на коефициента на топлопроводност. Добавянето на тези рециклирани влакна може да бъде устойчива алтернатива на търговските продукти, които се използват в момента за подобряване на механичното и термичното поведение след пожар, предотвратявайки експлозивното поведение на разтворите.

В [2] е анализирана възможността за рециклиране на СОМВ като влакнеста армировка на циментови матрици, вместо полимерни влакна. Установено е, че се повишава якостта на огъване, но се понижават модулът на еластичност и якостта на натиск, поради увеличаване на порьозността на композитния материал.

Съществуват изследвания и върху възможността СОМВ да бъдат използвани вместо фин пълнител (пясък) при строителните разтвори [3]. Проучването е провокирано от факта, че добивът на пясък в световен мащаб се е увеличил неимоверно през последните 30 години. Функционалността, химичният състав и микроструктурата на разтворите, включващи влакна от СОМВ, е сходна с тази на еталонния разтвор. ; т.е. няма значителна промяна, причинена от добавянето на тези влакна. Наблюдават се незначително увеличение на порьозността и леко намаление на плътността, което може да доведе до понижаване на механичните свойства на материала, но тези разтвори са по-леки и имат по-добри изолационни свойства. За заместване на 30% от пясъка, необходим за 1 тон разтвор, се рециклират до 70 кг СОМВ.

Поради високото съдържание на Na<sub>2</sub>O в GW и сравнително високото съдържание на този оксид в SW, влагането на GW и SW в циментови композити повишава количеството на алкалите, с което се създават условия за развитие на т.нар. алкална реакция [17]. Алкалната реакция е химична реакция между някои компоненти на добавъчните материали (аморфен SiO<sub>2</sub>, карбонати, доломити) и алкални компоненти в поровата течност. Последствията от алкалната реакция се изразяват в разширение на бетона поради абсорбцията на вода от хигроскопичния гел, който се образува, напукване и други

отрицателни ефекти върху свойствата на бетона (понижение на якостно-деформационните свойства). Не е открита информация за протичане на алкална реакция в циментови композити, съдържащи рециклирани СОМВ. Причината може да бъде силно развитата повърхност на влакната и на пудрата от MW - при налични условия за алкална реакция, тази реакция протича бързо – докато циментовите композити са още в пластична фаза и негативните процеси нямат деструктивно действие.

### **3.4. За производство на алкало-активирани материали**

Отпадъците от каменна вата (SW) и стъклена вата (GW) се разглеждат като суровини за алкало-активирани материали (ААМ) – тип геополимери. Установено е определящото влияние на два параметъра: съотношението  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  и съотношението „течност към твърдо вещество“ (L/S). При ниско съотношение  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  и ниското съотношение L/S е възможно постигането на якост на натиск от над 50 МПа. По-висока степен на взаимодействие се постига с използване на алкален активатор, който представлява смес на натриев силикат и NaOH. При GW се наблюдават микропукнатини в структурата, докато при SW структурата е по-порьозна и без микропукнатини. Съставите на база SW втвърдяват по-бързо поради влиянието на калция, който е в по-голямо количество от този при GW. Процесът на втвърдяване при съставите на база GW продължава обаче и след 90 дни, поради увеличаването на връзките Si-O-Si, които са резултат от активирането с натриев силикат и разтварянето на силиция от GW суровината [6].

### **3.5. За производство на дървесно-полимерни композити**

Има изследвания за положително влияние на отпадъци от MW върху свойствата на дървесно-полимерни композити с широк спектър от практически приложения, например като продукти за настилки, автомобилни части и строителни продукти [10]. Ефектът на влакната от MW (в количества 20% ÷ 40% от масата на композита) се изразява главно в подобряване на влагоустойчивостта и на набъбването – водопоглещането е с около 30 ÷ 60% по-малко, а набъбването – с около 25% ÷ 70%. Установено е че ако се подобри междинната адхезия между влакната от MW и полипропиленова матрица, много от механичните свойства също могат да бъдат подобрени. Оценката на [1] за дървесно-полимерните композити сочи, че със замяна на стъклените влакна, използвани при тези композити с рециклираните влакна от MW, екологичният отпечатък може да бъде намален значително.

## **4. ИЗВОДИ**

СОМВ представляват сериозен, но неоползотворен у нас, ресурс, който се оценява на около 40 000 тона годишно.

СОМВ подлежи на различни видове оползотворяване – подготовка за повторна употреба, рециклиране за производството на MW, керамика, циментови състави, геополимери и дървесно-полимерни композити.

Рециклирането на СОМВ може да бъде под формата на влакна или на пудра. Те могат да заменят значителни количества (до около 40%) на ценни природни суровини (например, пясък, руди, минерали), на влакната армировка, на продукти с голям екологичен отпечатък и да облекчат процеса на производство, включително да допринесат за понижаване на енергоемкостта на новите материали.

Повечето от разгледаните възможности, обаче, не са рутинна практика, а са лабораторни изследвания или са прототипи, при което се използват “pre-consumer” отпадъци от MW – чисти, без примеси и с познат химичен състав.

Основните презизвикателства по оползотворяването на “post-consumer” отпадъци от MW, каквито са СОМВ, са свързани с идентифициране на опасни/замърсени отпадъци и



тяхното отстраняване, селективно разрушаване (например, отделяне на замазки и мазилки от плочите от MW), разделното събиране на отпадъците, наличието на рециклиращи инсталации на достъпно разстояние за намаляването на транспортните разходи и на емисиите на парникови газове и, главно, с технологии за сепариране на други компоненти от продуктите от MW (алуминиево фолио, геотекстил, битумни мушамы, гипсокартон и др.) и за контрол на вида (GW или SW, мергелна, базалтова или шлакова вата) и на състава на СОМВ. Производствените технологии за новите продукти с рециклирано съдържание на MW също трябва да бъдат адаптирани и да позволяват влагането на по-големи количества рециклат, за да бъдат икономически целесъобразни.

В заключение, при работата си по проект BG05M2OP001-1.002-0019 „Чисти технологии за устойчива околна среда – води, отпадъци, енергия за кръгова икономика“, авторите прилагат комплексен подход за оползотворяване на СОМВ, който да позволи разработването на устойчиви решения в условията на България.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата публикация отразява научноизследователската работа по проект BG05M2OP001-1.002-0019: „Чисти технологии за устойчива околна среда – води, отпадъци, енергия за кръгова икономика“ за изграждане и развитие на Център за компетентност, финансиран от ОП „Наука и образование за интелигентен растеж“, съфинансирана от ЕС чрез Европейските структурни и инвестиционни фондове.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] O. Väntsi и T. Kärki, „Environmental assessment of recycled mineral wool and polypropylene utilized in wood polymer composites,“ *Resources, Conservation and Recycling*, том 104, p. 38–48, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.009>
- [2] C. P. Ramírez, M. d. R. Merino, C. V. Arrebola, A. V. Barriguete и M. Kosior-Kazberuk, „Analysis of the mechanical behaviour of the cement mortars with additives of mineral wool fibres from recycling of CDW,“ *Construction and Building Materials*, том 210, p. 56–62, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.062>
- [3] C. P. Ramírez, E. A. Sánchez, M. d. R. Merino, C. V. Arrebola и A. V. Barriguete, „Feasibility of the use of mineral wool fibres recovered from CDW for the reinforcement of conglomerates by study of their porosity,“ *Construction and Building Materials*, том 191, p. 460–468, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.026>
- [4] A. T. Gebremariam, A. Vahidi, F. D. Maio, J. Moreno-Juez, I. Vegas-Ramiro, A. Łagosz, R. Mróz и P. Rem, „Comprehensive study on the most sustainable concrete design made of recycled concrete, glass and mineral wool from C&D wastes,“ *Construction and Building Materials*, том 273, p. 121697, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121697>
- [5] Z. Chen, H. Wang, R. Ji, L. Liu, C. Cheeseman и X. Wang, „Reuse of mineral wool waste and recycled glass in ceramic foams,“ *Ceramics International*, том 45, p. 15057–15064, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.04.242>
- [6] M. Pavlin, B. Horvat, A. Frankovic и V. Ducman, „Mechanical, microstructural and mineralogical evaluation of alkali-activated waste glass and stone wool,“ *Ceramics International*, том 47, p. 15102–15113, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.02.068>
- [7] A. Adediran, P. N. Lemougna, J. Yliniemi, P. Tanskanen, P. Kinnunen, J. Roning и M. Illikainen, „Recycling glass wool as a fluxing agent in the production of clay- and waste-based ceramics,“ *Journal of Cleaner Production*, том 289, p. 125673, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125673>

- [8] Knauf insulation, Knauf, [Онлайн]. Available: <https://www.knaufinsulation.co.uk/products>. [последно посетен на 13 06 2022].
- [9] SAINT-GOBAIN ISOVER, ISOVER, [Онлайн]. Available: <https://www.isover.bg/products/list>. [последно посетен на 13 06 2022].
- [10] O. Väntsi и Т. Kärki, „Utilization of recycled mineral wool as filler in wood–polypropylene composites,“ *Construction and Building Materials*, том 55, p. 220–226, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.050>
- [11] P. N. Lemouagna, J. Yliniemi, H. Nguyen, E. Adesanya, P. Tanskanen, P. Kinnunen, J. Roning и М. Illikainen, „Utilisation of glass wool waste and mine tailings in high performance building ceramics,“ *Journal of Building Engineering*, том 31, p. 101383, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101383>
- [12] Министерството на околната среда и водите, „Наредба № 6 ОТ 27 АВГУСТ 2013 г. за условията и изискванията за изграждане и експлоатация на депа и на други съоръжения и инсталации за оползотворяване и обезвреждане на отпадъци,“ София, 2013.
- [13] Министерски съвет на Република България, „Наредба за управление на строителните отпадъци и за влагане на рециклирани строителни материали от 2012 г.,“ София, 2012.
- [14] „ASTM-C62 › Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale),“ ASTM International (ASTM), 2017.
- [15] R. Ji, Y. Zheng, Z. Zou, Z. Chen, S. Wei, X. Jin и M. Zhang, „Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature,“ *Construction and Building Materials*, том 215, p. 623–632, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226>
- [16] C. P. Ramírez, A. V. Barriguete, R. S. Somolinos, M. d. R. Merino и E. A. Sánchez, „Analysis of fire resistance of cement mortars with mineral wool from recycling,“ *Construction and Building Materials*, том 265, p. 120349, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120349>
- [17] P. Helene, M. Carvalho и J. Pacheco, „Engineering field tests for alkali-aggregate reaction,“ *Structural Concrete*, том 18, p. 349–355, 2016. <https://doi.org/10.1002/suco.201600090>