

## ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА РЕЦИКЛИРАНЕ НА ГИПС В БЪЛГАРИЯ

Даниел Евлогиев<sup>1</sup>

## OPPORTUNITIES FOR RECYCLING GYPSUM IN BULGARIA

Daniel Evlogiev<sup>1</sup>

### Abstract:

*In modern construction, gypsum is one of the most widely used materials and it's used for made of various construction materials. Its widely application leads to the formation of relatively large amounts of gypsum waste in the construction, repair and destruction of buildings. According to the national law, gypsum is not among the priority waste streams with which to achieve the goal of at least 70% material recovery of construction waste. At the same time, the disposal of gypsum with household waste poses risks because it participates in methanogenesis in the presence of biodegradable waste. On the other hand there are several options for preparation for reuse and recycling gypsum-containing construction waste to gypsum dihydrate, hemihydrate or anhydrite. The present study is a techno-economic analysis that examines the different gypsum recycling technologies, focusing on the conditions that ensure the economic viability of these activities. As a result of the analysis it was found that in Bulgaria it is possible to recycle gypsum economically efficient, when all processes related to gypsum waste are managed - from their separate collection, through their transportation to recycling plants, to the selection of appropriate technologies depending on the application of recycled products.*

### Keywords:

*C&D waste, gypsum, recycling, environmental footprint, economic viability*

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременното строителство гипсът е един от най-масово използваните материали и се употребява за направата на различни строителни продукти, най-често под формата на строителни мазилки/шпакловки, зидарийни материали, плоскости за строителство и др. Широкото му приложение води до образуването на сравнително големи количества гипсови отпадъци. Източниците на гипсови строителни отпадъци са:

---

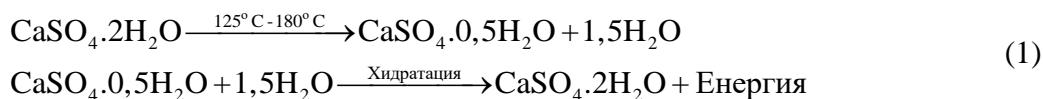
<sup>1</sup> Даниел Евлогиев, д-р инж., Постдокторант по проект BG05M2OP001-1.002-0019, катедра Строителни материали и изолации, Строителен факултет, Университет по Архитектура Строителство и Геодезия, бул. Христо Смирненски № 1, E-mail: d.evlogiev\_fce@uacg.bg; Daniel Evlogiev, PhD Eng., Postdoctoral researcher within project BG05M2OP001-1.002-0019, Department of Building Materials and Insulations, Faculty of Structural Engineering, University of Architecture Civil Engineering and Geodesy, Sofia - 1046, 1 Hristo Smirnenski Blvd, E-mail: d.evlogiev\_fce@uacg.bg

- Остатъци от строителството (т.нар. фира);
- Основни ремонти в сградите, които по прогнозни данни се правят на всеки 10 години и засягат около 30% от системите за сухо строителство;
- Разрушаването на сгради, при които са били употребени гипсови продукти в системи за сухо строителство, архитектурно-дизайнерски орнаменти, гипсови зидарийни тела и др.

Количествата отпадъчен гипс в световен мащаб всяка година са над 80 милиона тона, от които 15 милиона тона биват депонирани според [1]. Не са открити конкретни данни за общото количество на гипсовите отпадъци в България, поради което в настоящото проучване изводите и изчисленията са направени при предпоставка на средно количество гипсови отпадъци на човек/година. Ако в световен мащаб се генерират  $15 \div 80$  млн. тона от 8 млрд. население, т.е. 2-10 кг/човек/годишно, у нас би следвало да се образуват от 14 000 до 70 000 тона годишно гипсови отпадъци. Отчитайки, че в напредналите страни употребата на гипсови продукти е по-голяма, вероятно количествата са по-близки до горната граница, възможно е да я надхвърлят.

Поради химичните реакции, които настъпват при съвместното депониране на гипсови с биоразградими отпадъци, депонирането на гипса на депо за битови отпадъци (най-масовите депа в България) е забранено. Законодателните разпоредби за управление на строителните отпадъци [2] също изискват да се предприемат мерки за оползотворяването на гипсовите отпадъци в България.

Съществуват редица възможности за подготовка за повторна употреба на някои гипсови отпадъци (например, гипсокартонени и гипсофазерни плоскости), както и за широко рециклиране на гипс-съдържащите строителни отпадъци - до гипс дихидрат, полухидрат или анхидрит. Тези възможности са провокирани и от факта, че гипсът е един от малкото строителни материали, за които е възможен затворен цикъл (изпичане, смесване с вода и хидратация, употреба на гипсовите продукти, демонтиране, рециклиране и влагане в нови/други продукти) на рециклиране и/или последваща употреба в композитни материали.



Настоящото проучване има за цел да изследва технико-икономическите възможности за рециклиране на гипсови отпадъци в България, като поставя акцент върху условията, осигуряващи икономическата рентабилност на тези дейности.

## 2. РЕЦИКЛИРАНЕ НА ГИПСОВИ СТРОИТЕЛНИ ОТПАДЪЦИ

Технологиите за преработка зависят от състава на гипсовите отпадъци и за какви цели ще бъдат оползотворени. Подходящи са 2 метода на рециклиране: механично рециклиране и термично рециклиране. Изборът зависи от множество фактори, като определящи са видът и съставът на гипсовите отпадъци [3]. Основните процеси на рециклиране на гипса са описани по долу.

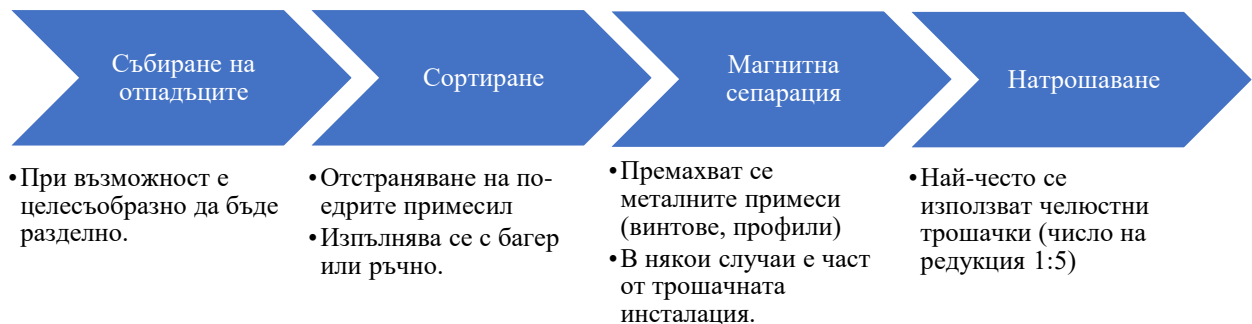
### 2.1. Механично рециклиране

При механичното рециклиране не се стига до промяна в химичния състав на гипса. Крайният продукт е дихидрат, който, в зависимост от процесите, може да е под формата на прах или под формата на трошен камък. Процесите на преработка са илюстрирани на фиг. 1 и на фиг. 2.



Фигура 1. Пълно механично рециклиране

Когато целта е грубото натрошаване на гипсовите отпадъци, може да се приложи опростено механично рециклиране. Крайният продукт е трошен камък от гипс двухидрат, за който не се изискват еднородни физико-механични показатели – фиг. 2.



Фигура 2. Опростено механично рециклиране

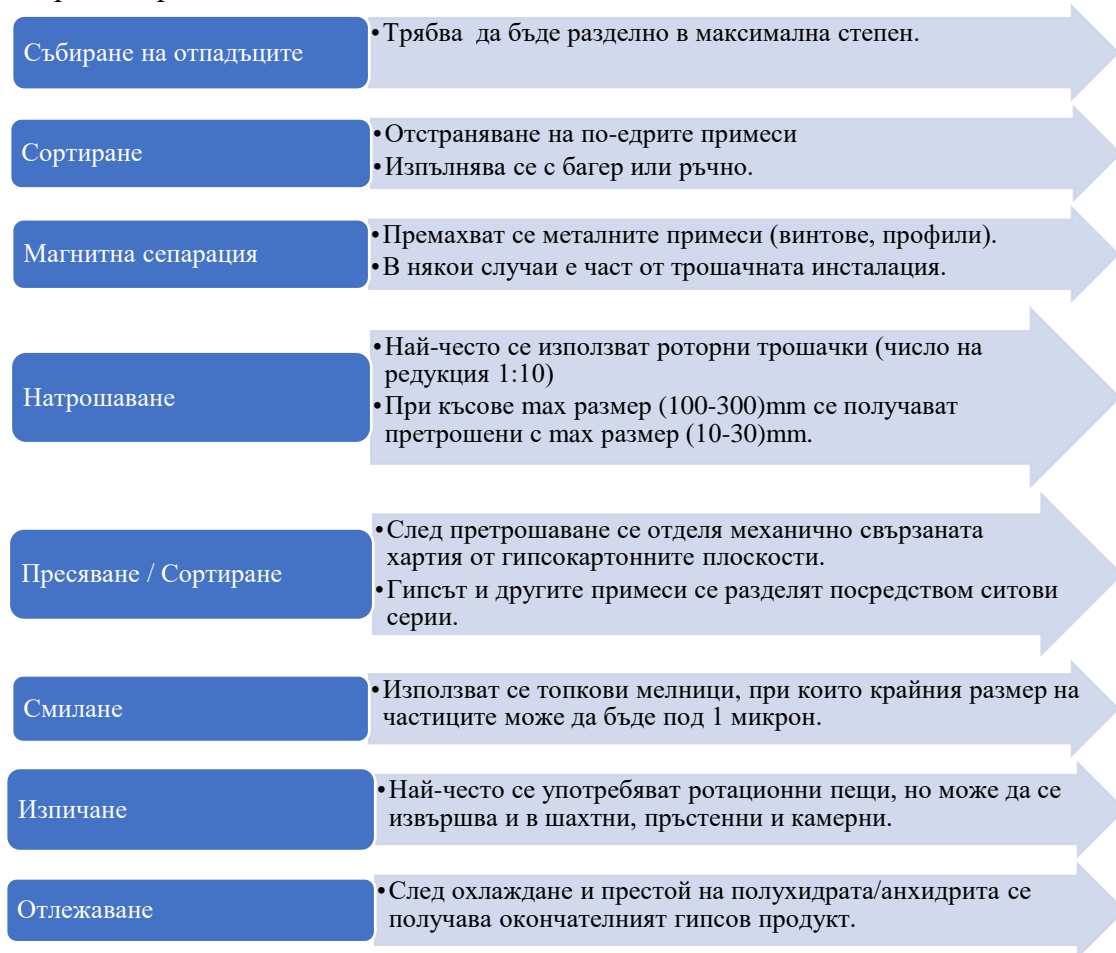
За механично рециклирания гипс е установено, че може да се използва като алтернатива на естествения гипс и при производство на портландцимент [4]. Използва се често в малки количества и при производство на гипсокартонени плоскости, като ускорител на свързването. Употребява се в различни композитни материали, в които се използва и естествения калциев сулфат двухидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), поради сходните свойства.

Гипсовите отпадъци, които са рециклирани по опростен механичен начин могат да се използват за стабилизиране и направа на насипното тяло при конструкции в пътното строителство. Изследването на [5] показва, че използван в контролирани количества, рециклираният гипс може да подобри механичните свойства на почвите: в пясъчливи почви съдържание на гипс до 30% води до увеличение на максималната плътност, якостта на натиск се увеличава с добавяне на до около 20% гипс, но водопропускливостта на тези почви се увеличава с добавяне на гипс, като изключение правят само почвите с фина текстура, в които е добавен много дребно смлян гипс (зърна под  $44\mu\text{m}$ , получени след механично рециклиране във смилане). Разширението на експанзивни глинести почви може да бъде значително намалено с добавяне на 10% гипс, а с увеличаване количеството на гипс до 15% се повишава носещата способност на тинести глини. Като цяло, в глинестите почви съдържание на гипс до 20% увеличава ъгъла на вътрешно триене и образува кристали в

порите, откъдето се увеличава и носещата им способност. При добавянето на 5% шлаков цимент и рециклиран гипс до 20% се постига подобряване в поведението на глинести почви при циклично замръзване и размръзване.

## 2.2. Термично рециклиране

Термичното рециклиране води до промяна в химичния състав и структурата на гипса и възобновява свързващите му свойства. То включва и редица процеси от механичното рециклиране - фиг.3.



Фигура 3. Термично рециклиране

При температура на изпичане от 80 до 110°C на суровината се получава калциев сулфат полухидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) алфа модификация – които се отличава с много висока якост. При температура от 125 до 180 °C на изпичане се получава калциев сулфат полухидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), бета модификация, т.нар. строителен гипс. При термичната обработка до по-високи температури от 180 до 1180 °C се получава анхидрит (I, II, III) ( $\text{CaSO}_4$ ).

Теоретично гипсът следва да може да се рециклира безброй много пъти поради обстоятелството, че винаги от калциев сулфат полухидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) при хидратация се получава калциев сулфат двухидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и обратното при термична обработка. Практическите изследвания обаче показват, че съществува тенденция за деградация на физико-механичните свойства на суровината при всеки следващ цикъл на рециклиране. Причината е наличието на примеси в гипсовите продукти и на други вещества-микроелементи, които присъстват в отпадъците от гипс двухидрат. Именно те са вероятната

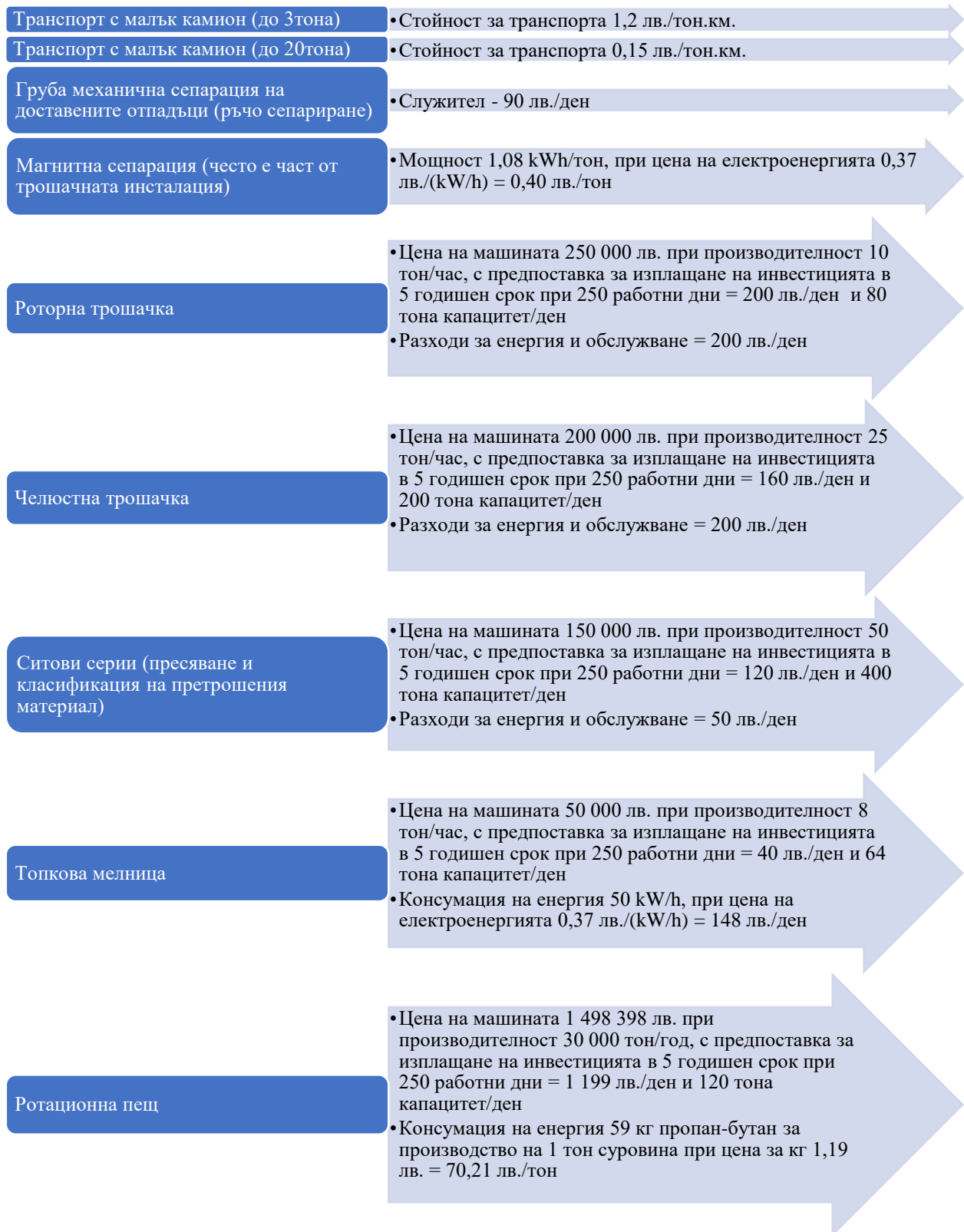
причината за изменението на физико-механичните характеристики на полухидрата след рециклиране. При проучванията за рециклируемост на конвенционален гипс и пеногипс (гипс с добавен пенообразувател), е установено, че пеногипсът може да се рециклира до 3 последователни пъти, без това да се отразява съществено на якостните свойства на гипсовите продукти. Едва след четвъртия цикъл на рециклиране, якостта на опън и натиск на пеногипса намалява, но значително по-голямо е понижението при продуктите от конвенционален гипс [6]. Обобщавайки възможността за употреба на суровината, получена от термично рециклиран гипс, може да се заключи, че тя има приложение за всичко, за което се използва и неретицилираната такава, при предпоставка, че се проследяват нейните характеристики.

### 3. ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА РЕЦИКЛИРАНЕТО НА ГИПСОВИ ОТПАДЪЦИ

Анализът е изготвен при следните предпоставки:

- Предприятието за рециклиране е разположено на територията на голям град – София, от който се очакват големи количества гипсови отпадъци. Предприятието работи 250 дни на годишна база. Извършва се термично рециклиране на гипсовите отпадъци до строителен гипс (полухидрат). Неподходящите за термично рециклиране отпадъци се преработват само механично с натрошаване (до двухидрат за други строителни цели, а не като гипсово свързващо вещество).
- Входната такса за приемане на гипсовите отпадъци е 30 лв./тон. Това е доста по-привлекателна опция за генераторите на строителни отпадъци, които би следвало да плащат входна такса на депо над 85 лв./тон. Отчисленията за депониране на неопасни отпадъци понастоящем са 82 лв./тон, като се очаква през 2022г. да достигнат 95 лв./тон [7]. Към тези отчисления следва да се прибавят и таксите, които депата начисляват за покриване на оперативните си разходи и за формиране на печалба. Тези такси варират в широки граници, но за строителни отпадъци са около 3лв./тон. Следователно, депонирането на гипс-съдържащи строителни отпадъци е от порядъка на  $85 \div 100$  лв./тон. Приета е такса за депониране 93 лв./тон.
- Предприятието поема транспортните разходи за доставка на гипсовите отпадъци. Това е малко вероятна хипотеза, тъй като разходите по транспорт на отпадъците са за сметка на техните генератори, но тук разглеждаме най-неблагоприятните варианти, а такава неблагоприятна ситуация би настъпила, ако към предприятието няма доставки на отпадъци от гипс. Приема се автомобилен транспорт, въпреки че доставките биха се извършвали и с железопътен транспорт.
- Предприятието продава преработения гипс полухидрат с около 15% по-малко от пазарната цена на гипса, получен от природни суровини (208 лв./тон според пазарно проучване [8]), т.е. за около 180 лв./тон.
- Предприятието продава натрошения гипс двухидрат на цена около 40 лв./тон (по пазарно проучване).

Следователно, производствените разходи не трябва да надхвърлят 210 лв./тон за полухидрата и 70 лв./тон за двухидрата. За определяне на разходите на предприятието за рециклиране остойносттаваме технологичните операции. Отчетени са себестойността на машините и производствените разходи. Направени са обосновани предположения за производствения капацитет и за срока за откупуване на инвестицията - фиг.4. Отчита се фактът, че когато определена машина има производствен капацитет по-голям от този на останалите участващи в една и съща поточна линия, тя няма как да произведе повече от машината с най-малък капацитет в същото производство.



Фигура 4. Ориентировъчни производствени разходи и параметри на необходимата механизация за рециклиране на гипсови отпадъци до строителен гипс

Доставката на отпадъчен гипс към предприятието е изчислена при предпоставка, че гипсовите отпадъци се транспортират с малки камиони (до 25 км) от мястото на

образуването им до площадки във всяка област, откъдето се претоварват на големи камиони и се транспортират до предприятието в района на София. В таблица 1 са изчислени средните транспортни разходи за страната при превоз на отпадъците до мястото за преработка. Определено е и средното количество гипсови отпадъци за преработка на ден, при предположението, че всеки работен ден се работи с еднаква интензивност.

Таблица 1. Средни транспортни разходи за доставка на отпадъчен гипс до рециклиращото предприятие на територията на гр. София

№	Област	Население [бр]	Отпадъци [тон/год]	Транспортно разстояние до инсталация в гр. София [км]		Транспортни разходи [лв./тон]	Общи транспортни разходи за година [лв.]
				транспорт с малък камион	транспорт с голям камион		
1	Благоевградска	305 123	610	25	122	48,3	29 475
2	Бургаска	412 684	825	25	384	87,6	72 302
3	Варненска	472 654	945	25	435	95,3	90 041
4	Великотърновска	242 259	485	25	213	62,0	30 016
5	Видинска	88 867	178	25	209	61,4	10 904
6	Врачанска	168 727	337	25	106	45,9	15 489
7	Габровска	108 404	217	25	197	59,6	12 911
8	Добричка	173 831	348	25	470	100,5	34 940
9	Кърджалийска	150 837	302	25	279	71,9	21 675
10	Кюстендилска	119 041	238	25	124	48,6	11 571
11	Ловешка	124 873	250	25	143	51,5	12 849
12	Монтанска	129 637	259	25	110	46,5	12 056
13	Пазарджишка	260 814	522	25	113	47,0	24 490
14	Пернишка	120 880	242	25	51	37,7	9 102
15	Плевенска	240 380	481	25	157	53,6	25 745
16	Пловдивска	668 334	1 337	25	145	51,8	69 173
17	Разградска	112 229	224	25	326	78,9	17 710
18	Русенска	218 556	437	25	304	75,6	33 046
19	Силистренска	109 271	219	25	423	93,5	20 423
20	Сливенска	186 495	373	25	307	76,1	28 366
21	Смолянска	105 421	211	25	245	66,8	14 074
22	София-град	1 291 591	2 583	25	0	30,0	77 495
23	Софийска	229 041	458	25	0	30,0	13 742
24	Старозагорска	316 356	633	25	232	64,8	41 000
25	Търговищка	113 694	227	25	312	76,8	17 463
26	Хасковска	233 415	467	25	229	64,4	30 041
27	Шуменска	172 355	345	25	352	82,8	28 542
28	Ямболска	122 276	245	25	299	74,9	18 305
		Σ= 6 998 045	13 996			Σ=	822 945
Средни транспортни разходи за страната - 822 945 [лв.] / 13 996 [тон] = 58,8 [лв./тон]							
Средно количество за преработка на ден - 13 996 [тон] / 250 [работни дни] = 55,98 [тон /ден]							

Вижда се, че централизираното рециклиране не е най-добрата алтернатива, тъй като транспортът, особено автомобилният, за някои отдалечени области се оказва твърде скъп. Максималното транспортно разстояние трябва да е такова, че сумата от транспортните разходи и входната такса на преработвателя да бъде по-малка от сумата на таксата за депониране (напр. 93 лв./тон) и транспортните разходи до съответното депо (25 км, превоз

с малък камион, т.е. 30 лв./тон), т.е. под 123 лв./тон, за да бъде изгодно предаването на гипсовите отпадъци на преработвателя, без да се налага той да плаща за транспортирането им. По тази логика, максималното транспортно разстояние е около 400 км при автомобилен транспорт.

За производство на дихидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) съгласно описаната методика за механична преработка в точка 2.1, фиг.2., получаваме себестойността посочена в табл. 2.

Таблица 2. Разходи на рециклиращото предприятие за производството на гипс дихидрат

№	Технологична операция	[лв./ден]	[тон/ден]	[лв./тон]
1	Средни транспортни разходи			58,80
2	Сортиране (ръчно)	90	55,98	1,61
3	Магнитна сепарация			0,40
4	Претрошаване (челюстна трошачка)	360	55,98	6,43
$\Sigma =$				67,24

За производство на гипс полухидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) съгласно описаната методика за преработка в точка 2.2 термична рециклиция, получаваме себестойността посочена в табл. 3.

Таблица 3. Разходи на дружеството при производство на термично рециклиран гипс

№	Технологична операция	[лв./ден]	[тон/ден]	[лв./тон]
1	Средни транспортни разходи			58,80
2	Сортиране (ръчно)	90	55,98	1,61
3	Магнитна сепарация			0,40
4	Трошене (роторна трошачка)	400	55,98	7,15
5	Пресяване и класификация на материала (ситова серия)	170	55,98	3,04
6	Финно смилане (топкова мелница)	188	55,98	3,36
7	Изпичане на суровината (ротационна пещ)	1199	55,98	21,42
		$\Sigma =$		165,98

## ИЗВОДИ

Установено е, че дори при неблагоприятните и твърде консервативни предпоставки на централизирано рециклиране, транспорт с автомобилен транспорт на гипсовите отпадъци и поемане на разходите за транспорт от рециклатора, както и поддържане на цена на продуктите от рециклирани материали с около 15% по-ниска от пазарната на сходни продукти от природен гипс, дейността по рециклиране на гипсовите отпадъци може да бъде икономически изгодна. При производството на строителен гипс разликата между приходите (210 лв./тон) и разходите (166 лв./тон) е значителна. Разликата при механичното рециклиране до трошляк от дихидрат е малка (70 лв./тон приходи при 67 лв./тон разходи), но следва да се отчита, че тази дейност за рециклиращото предприятие ще е сравнително ограничена и позволява все пак да се реализира печалба, а ако не се извършва, този необработен, неподходящ за термично третиране гипс, ще формира отпадък (респективно разход от около 123 лв./тон). В реални условия, на голям дял на железопътния транспорт при транспортирането на отпадъците и/или заплащането на транспорта от генератора на отпадъците, икономическата изгода би била още по-голяма.



В зависимост от реалните количества на гипсовите отпадъци, които се генерират по области, както и оценка на пазара на рециклираните продукти, децентрализираното рециклиране (на 2 или 3 места в България) ще допринесе допълнително към икономическата рентабилност. Следователно, рециклирането на гипсови строителни отпадъци е устойчиво решение, тъй като носи екологични, икономически и социални ползи.

## **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.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Li Z., K. Xu, J. Peng, J. Wang, J. Zhang, Q. Li, Study on mechanical strength and water resistance of organosilicon waterproofing agent blended recycled gypsum plaster, *Case Studies in Construction Materials* 14 (2021) e00546.
- [2] Евлогиев Д., Р. Захариева, Оползотворяване на гипсови строителни отпадъци, XXI Международна научна конференция по строителство и архитектура ВСУ'2021.
- [3] Weimann K., C. Adam, M. Buchert, J. Sutter, Environmental Evaluation of Gypsum Plasterboard Recycling, January 2021, *Minerals* 11(2):101 (DOI: 10.3390/min11020101).
- [4] Chandara C., K. Azizi, M. Azizli, Z. Arifin Ahmad, E. Sakai, Use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement, *Waste Management*, 29 (2009) 1675–1679.
- [5] Kuttah D., K. Sato, Review on the effect of gypsum content on soil behavior, *Transportation Geotechnics*, 4 (2015) 28–37.
- [6] Voccarusso L., M. Durante, F. Iucolano, A. Langella, F. Memola, C. Minutolo, D. Mocerino, Recyclability Process of Standard and Foamed Gypsum, *Procedia Manufacturing*, January 2020, 47:743-748 (DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.227).
- [7] Наредба № 7 от 19 декември 2013 г. За реда и начина за изчисляване и определяне размера на обезпеченията и отчисленията, изисквани при депониране на отпадъци, обн. ДВ бр.111 от 27.12.2013г., посл. изм. и доп. ДВ бр.26 от 22.03.2020г.
- [8] <http://www.euromix-bg.com/data/pdf/61Euromix%20-%20Katalog%20Tseni%202010.pdf>, посл. посетен на 01.11.2021г.