



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590117](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590117)

Получена: 04.11.2025 г.

Приета: 15.01.2026 г.

АКТИВНА МИНЕРАЛНА ДОБАВКА ЗА БЕТОН, ПОЛУЧЕНА ОТ ФИНО СМИЛАНЕ НА ОТПАДЪЧНО СЪТЪКЛО

И. Ростовски¹

Ключови думи: бетон, минерални добавки, отпадъчно стъкло

РЕЗЮМЕ

Добре известно е, че редица важни характеристики на бетона, например водоустойчивост, водонепропускливост, химична и корозионна устойчивост се подобряват чрез използване на активни минерални добавки. Това са неорганични прахообразни материали, които съдържат силициев диоксид и/или алуминиев оксид в активна (аморфна) форма. Най-често добавките се получават чрез смилане на естествени скални породи (естествени пуцолани) или на продукти, които са преминали термична обработка, която е довела до промяна на химичния им състав (изкуствени пуцолани). В доклада се разглежда възможността за получаване на активна минерална добавка от фино смляно отпадъчно стъкло. Представена е информация за фазовия състав на добавката, изследвано е влиянието върху характеристиките на циментови пасти, цименто-пясъчен разтвор и бетон. Използването на подобни минерални добавки допринася едновременно за намаляване на количествата на отпадъците и дозировката на цимента в бетона, т.е. постига се едновременно икономически и екологичен ефект.

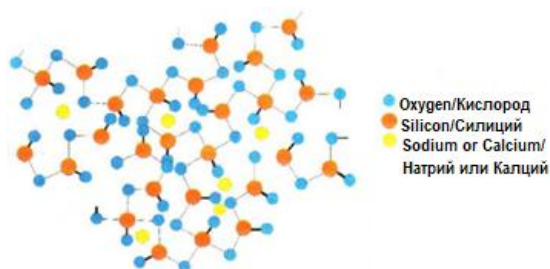
1. Въведение

Минералните добавки към цимента (и бетона) са неорганични, финосмлени (прахообразни) материали за използване в цимент и/или бетон, за подобряване на отделни

¹ Иван Ростовски, проф. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: rostovsky_fce@uacg.bg

2. Потенциален източник на суровина за активни минерални добавки – отпадъчно стъкло

Както е добре известно, стъклото е прозрачен материал с преобладаващо аморфна структура – фиг. 2, получен при преохлаждане на силикатна стопилка. Съвременното стъкло се произвежда от пясък (силициев диоксид), калцинирана сода (натриев карбонат) и варовик (калциев карбонат), с малки добавки на гипс (калциев сулфат) и доломит (магнезиев варовик). Това определя окончателния химичен състав на стъклото от 70 – 74 % силициев диоксид, 12 – 16 % натриев оксид, 5 – 12 % калциев оксид, 2 – 5 % магнезиев оксид и неголеми количества алуминиев, калиев и железен оксид. Добавянето на около 25 % натрошено отпадъчно стъкло улеснява топенето на сместа и спомага за рециклирането на стъклените отпадъци.



Фиг. 2. Структура на стъклото, съгласно [5]

Информация за количествата на стъклените отпадъци, които се генерират в икономиката на България, по данни на НСИ е представена в таблица 1.

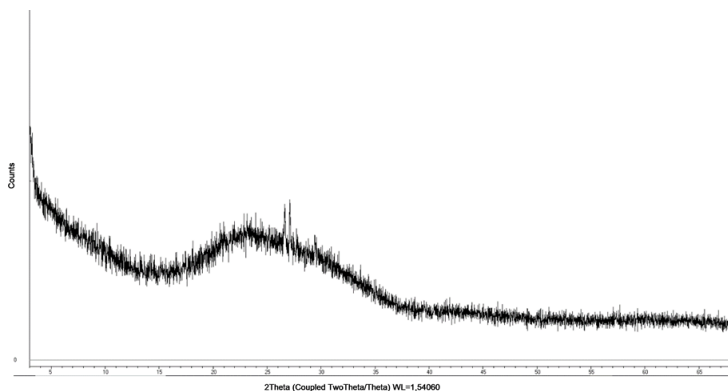
Таблица 1. Образувани производствени и опасни отпадъци по вид общо за страната 2023 г. (тона)

Наименование на отпадъка	Образувани отпадъци	Предадени за оползотворяване	Предадени за обезвреждане	Изнесени извън страната
Общо образувани опасни и неопасни отпадъци	94 238 564	4 358 415	4 987 062	284 556
Неопасни отпадъци, общо	78 275 339	4 286 516	4 953 551	279 285
Отпадъци от киселини, основи и соли	613	80	100	–
Израходвани химични катализатори	324	46	–	144
Отпадъци от химически препарати	2 861	963	676	0
Химически отлагания	42 228	4 356	1 834	–
Индустриални течни утайки	348 661	10 642	2 757	–
Медицински и биологични отпадъци	4 616	725	2 726	26
Метални отпадъци	1 312 177	615 622	9 647	143 466
Отпадъци от стъкло	421 343	158 871	99	491

Съгласно действащата нормативна уредба, част от отпадъчното стъкло може да се утилизира на бетонови възли, но не е указан начинът по който това трябва да се извършва. За България подобно утилизиране би могло да се реализира, като се изпълняват изискванията на Наредба № РД-02-20-1 от 5 февруари 2015 г. за условията и реда за влагане на строителни продукти в строежите на Република България; ДВ, бр. 14 от 2015 г. [6].

От стъклени отпадъци би могло да се произведат добавъчни материали за бетони и строителни разтвори, главно пясък, но той не би могъл да изпълни изискванията по отношение на максимално допустимо съдържание на реактивоспособен SiO_2 от 50 mmol/dm^3 . В предходни изпитвания бе показано, че ако част от естествения пясък бъде заменен с такъв, получен от натрошаване на отпадъчно стъкло, биха могли да се получат конструктивни бетони и строителни разтвори, като трябва да се държи сметка за потенциалната опасност от алкалосилициева реакция [7, 8]. Друга причина да не се препоръчва да се използва подобен пясък, като замяна на част от естествения, в количество над 20 – 30 % от общата маса на пясъка в бетона, е чувствителното намаляване на механичните характеристики.

Друго, практически възможно, приложение на отпадъчното стъкло е като минерална добавка за бетони и строителни разтвори. При това не се стига до конфликт с нормативните изисквания, а съдържанието на аморфен силициев диоксид е много над минимално изискуемото за пуцоланови материали. Изходната суровина за получаване на подобна активна минерална добавка (II тип) е отпадъчно стъкло, с различен произход – плоско (прозоречно) стъкло, стъклени опаковки (бутилки и буркани), кинескопи, фотоволтаични панели и др. Химичният състав на суровината се състои главно от силициев диоксид (SiO_2) в аморфна, реактивоспособна форма (видно от фиг. 3), и неголеми количества други оксиди, чието съдържание варира в определен диапазон, в зависимост от вида на стъклото – калциев оксид (CaO), натриев оксид (Na_2O), алуминиев оксид (Al_2O_3) и др.



Фиг. 3. Активна минерална добавка за бетон, получена от фино смилане на отпадъчно стъкло – прахова дифрактограма

Типичният химичен състав на проба от отпадъчното стъкло е показан в таблица 2.

Възможностите за използване на смляно стъкло, като активна минерална добавка, се проучват и от други автори [9 – 12], като се отчитат резултати от изпитване на композитни материали на циментова основа, при които се използва минерална добавка, която се изготвя в лабораторни условия.

В настоящия доклад получените резултати се отнасят за продукт, който се получава в производствени условия, т.е. представляват своеобразен следващ етап.

3. Производство на добавката

Първоначално суровината (отпадъчно стъкло) се натрошава в двувалова или чукова мелница, като по този начин се получава междинен продукт, от който могат да се отделят различни включения към стъклото. Това става чрез преминаване през различни сепариращи устройства.

Включенията от черни метали, които имат магнитни свойства (капачки, гърловини от стъклени бутилки, метални рамки от плоско стъкло и т.н.), се отелят чрез магнитен сепаратор. Примесите от цветни метали (капачки, гърловини, алуминиеви рамки и т.н.) се отстраняват чрез преминаване през сепаратор за цветни метали („еди кърънт“).

Таблица 2. Типичен химичен състав на суровината

№ по ред	Компонент	Съдържание, в % по маса
1	Na ₂ O	7 – 12
2	MgO	1 – 2
3	Al ₂ O ₃	0,5 – 1,5
4	SiO ₂	60 – 75
5	P ₂ O ₅	< 0,3
6	SO ₃	< 0,5
7	Cl	< 0,05
8	K ₂ O	< 0,3
9	Fe ₂ O ₃	< 0,5
10	CaO	15 – 23
11	CuO	< 0,05
12	SrO	< 0,03
13	ZrO ₂	< 0,05

Отделянето на готовата минерална добавка се извършва чрез преминаване/пресяване през вибросито. Размерите на отворите на виброситото могат да се променят в зависимост от желаната едрина на материала, който трябва да се получи след пресяването. Максималната едрина на частиците е до 40 µm, така че да се постигне среден размер около 18 – 20 µm, т.е. приблизително равен на размера на частиците на бързовтърдяващите цименти. Приема се, че материалът, преминал през ситото, е годен за употреба по отношение на едрината. Останалата част от стъклената суровина, която се задържа от ситото, се пренасочва за досмилане в чукова мелница със сменяемо сито или серия сита, където може да се получи продукт с необходимата едрина на стъклените частици. По този начин се организира затворено производство, при което материалът се досмила определен брой пъти, докато достигне предписания размер на частиците.

Крайният продукт (добавка) се получава в прахообразна форма. Може да се съхранява практически неограничено време, тъй като същият не е чувствителен към влажността на околната среда. Влагата не води до загуба на активност на добавката и не води до промяна на химична ѝ състав. Когато добавката е предназначена за влагане в бетонови центрове, тя се съхранява в бункер или силос. В този случай е желателно съхранението да не продължава повече от три месеца, тъй като, ако се допусне овлажняване, това може да доведе до проблеми с разтоварването поради възникване на засвояване в бункера или силоса.

За използване на добавката при производство на изделия и/или сухи смеси съхранението е в биг-бегове (големи торби) и може да продължи по-дълъг период, в зависимост от характера на производството.

4. Характеристики на добавката

За охарактеризиране на добавката и установяване на нейното влияние върху някои основни характеристики на пресен и втвърден бетон бяха проведени редица лабораторни изпитвания. Част от получените резултати са представени в таблица 3.

Таблица 3. Някои по-важни характеристики на минерална добавка, получена при фино смилане на отпадъчно стъкло

№ по ред	Наименование на показателя	Единица на величината	Стандарти/валидирани методи	Резултати от изпитването
1	2	3	4	5
1	Загуба при налягане	%	БДС EN 196-2:2013	0,14
2	Хлориди	%	БДС EN 196-2:2013	0,007
3	Сулфати	%	БДС EN 196-2:2013	не се откриват
4	Свободен калциев оксид	%	БДС EN 451-1:2017	0,014
5	Реактивоспособен калциев оксид	%	БДС EN 196-2:2013	0,10
6	Реактивоспособен силициев диоксид	%	БДС EN 196-2:2013	78,2
7	Сума на силициев диоксид, алуминиев оксид и железен оксид	%	БДС EN 196-2:2013	93,1
8	Алкалии	%	БДС EN 196-2:2013	3,6
9	Магнезиев оксид	%	БДС EN 196-2:2013	0,034
10	Общ фосфат	%	ISO 29581-2:2010	не се открива
11	Разтворим фосфат	mg/kg	БДС EN 450-1:2012 Прил. С	не се открива
12	Финост	%	БДС EN 451-2:2017	0,4
13	Показател за активност (на възраст 7 денонощия)	%	БДС EN 196-1:2016	71,4
14	Показател за активност (на възраст 28 денонощия)	%		85,6

Както става ясно от получените резултати, влагането на активната минерална добавка, получена от смилане на отпадъчно стъкло, в количества до 1/3 от масата на цимента не води до увеличаване на водопотребността на бетонните смеси и строителните разтвори, нещо повече, при използване на добавката се констатира увеличаване на подвижността при равни други условия. Избраната дозировка е съобразена с препоръките за използване на летяща пепел в бетон, съгласно БДС EN 206, тъй като в момента летящата пепел на практика е единствената активна минерална добавка, която се използва в България.

При употреба на минералната добавка от смялно отпадъчно стъкло не се забелязва увеличена склонност към разслояване и водоотделяне в сравнение с бетонни смеси, при които се използва обикновен портландцимент (СЕМ I), без добавка. При нормална температура (20 °C) времето на свързване на цимент с добавка е практически същото, както на чистия цимент. Констатира се незначително понижаване на съдържанието на въздух в пресен бетон, а отделянето на топлина при втвърдяване на цимента (екзотермия) намалява пропорционално на количеството на вложената добавка.

При съотношение минерална добавка : цимент = 1:3, якостта на натиск на бетона на 28-ия ден достига до над 80 % от тази на бетон, получен със същото количество цимент (СЕМ I), а при увеличаване на съдържанието на комбинацията добавка + цимент с 8 – 10 % спрямо масата на чистия цимент, на 28-ия ден практически няма разлика в якостта на натиск на бетона, докато при възраст 90 % якостта на натиск на комбинацията е с около 15 % по-висока, в сравнение с тези на бетон без минерална добавка.

При бетоните с минерална добавка може да се очаква повишена водоустойчивост, химична и корозионна устойчивост, тъй като съдържанието на портландит в продуктите на хидратация е редуцирано поради взаимодействието му със смялното стъкло.

Намалена водопотребност се забелязва и при частична замяна на естествен пясък с такъв от натрошено стъкло, което е описано в [7 и 8], като същото се констатира и в конкретния случай – когато стъклото се влага като минерална добавка. Намалената водопотребност позволява известна редукция на водата в бетона, което от своя страна е предпоставка за относително висока мразоустойчивост на втвърдения бетон, при положение, че се осигури достатъчен период за втвърдяване – поне два – три месеца.

5. Заключение

Въз основа на проведените изследвания и получените от тях резултати би могло да се направи заключение, което да се обобщи, както следва:

- Чрез натрошаване, пречистване и последващо фино смилане на отпадъчно стъкло се получава активна минерална добавка с преобладаващо аморфна структура и високо съдържание на активен силициев диоксид – SiO_2 .
- Минералната добавка показва висока активност – показател на активност над 85 %, на възраст 28 денонощия, което позволява да се намали количеството на цимента при запазване на механичните показатели. Това позволява да се постигне и екологичен ефект поради по-ниското ниво на отделените въглеродни емисии за производството на бетони и разтвори.
- Минералната добавка не предизвиква увеличаване на водопотребността на цимента и бетона, при използване в количество до 25 – 30 % от масата на цимента. Последното има редица благоприятни последици като намалено съсъхване, повишена непроницаемост и запазване на мразоустойчивостта на втвърдения бетон, при използване на минералната добавка в производството му.
- Минералната добавка не се влияе от наличието на влага във въздуха и може да се съхранява практически неограничен период от време.
- Добавката не е токсична и е химично инертна при нормални условия. Не се очаква вредно въздействие или алергични реакции при попадане върху кожата.
- Добавката може да се използва като съставен материал при производството на бетонни смеси с цел модифициране на характеристиките на втвърдения

бетон. Друго възможно приложение е в производството на материали на основа цимент или въздушна калциева вар (CL), като готови разтвори и/или сухи смеси за мазилки, зидарии и подови замазки. Не се препоръчва за използване извън строителния сектор.

Благодарности

Изказвам благодарности на персонала на Университетската строителна изпитвателна лаборатория (УСИЛ) за неогренимата помощ по време на лабораторните изпитвания.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. BDS EN 206:2013+A2:2021 Beton. Spetsifikatsia, svoystva, proizvodstvo i saotvetstvie.
2. ASTM C618-19 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
3. BDS EN 197-1:2011 Tsiment. Chast 1: Sastav, iziskvania i kriterii za saotvetstvie za obiknoveni tsimenti.
4. *Tokyay, M.* Cement and Concrete Mineral Admixtures. CRC Press, ISBN 9780367028008, 2016.
5. *Lyons, A.* Materials for architects and builders. Butterworth-Heinemann, ISBN: 978-1-85617-519-7, 2010.
6. Naredba № RD-02-20-1 ot 5 fevuari 2015 g. za usloviyata i reda za vlagane na stroitelni produkti v stroezhite na Republika Bulgaria, DV, br. 14 ot 2015 g.
7. *Naydenov, V., Rostovski, I.* Tehnologichni vazmozhnosti za izpolzване na dremen dobavachen material (pyasak) za beton i stroitelni raztvor, ot retsiklirani stakleni otpadatsi. Sb. dokladi na 13-ta mezhd. konf. VSU'2013, tom 3, seksia 4, str. IV54 – IV59, ISSN 1314-071X.
8. *Naydenov, V., Rostovski, I.* Betoni i stroitelni raztvori, polucheni s izpolzване na dobavachni materiali ot retsiklirani stakleni otpadatsi. Sbornik s dokladi na mezhdunarodna nauchna konferentsia „Proektirane i stroitelstvo na sgradi i saorazhenia“, 11 ÷ 13 septemvri 2014 g., Varna, VSU “Chernorizets Hrabar”, Avangard prima, str. 134 – 145, ISBN: 978-954-322-310-7, 2014.
9. *Aliabdo, A. A., Elmoaty, A. E. M. A., Aboshama, A. Y.* Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete. Construction and Building Materials, Volume 124, 15 October 2016, Pages 866 – 877.
10. *Du, H., Tan, K. H.* Properties of high volume glass powder concrete. Cem. Concr. Compos. 2017, 75:22 – 29, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2016.10.010.
11. *Islam, G. M. S., Rahman, M. H., Kaz, N.* Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice. // International Journal of Sustainable Built Environment, Volume 6, Issue 1, June 2017, Pages 37 – 44, <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.10.005>.
12. *Barbhuiya, S., Kanavaris, F., Ashish, D. K., Tu, W., Das, B. B., Adak, D.* (2025). Ground waste glass as a supplementary cementitious material for concrete: sustainable utilization, material performance and environmental considerations. // Journal of Sustainable Cement-Based Materials, 14(7), 1221 – 1249, <https://doi.org/10.1080/21650373.2025.2493719>.

ACTIVE MINERAL ADDITION FOR CONCRETE PRODUCED FROM FINELY GROUND WASTE GLASS

I. Rostovsky¹

Keywords: concrete, mineral additions, waste glass

ABSTRACT

It is well known that numerous important characteristics of concrete, such as water resistance, water impermeability, and chemical and corrosion resistance, are improved by using active mineral additions. These are inorganic powder materials that contain silica and/or alumina in a reactive (amorphous) form. Most often, these additions are obtained by grinding natural rocks (natural pozzolans) or products that have undergone heat treatment, which has led to a change in their chemical composition (artificial pozzolans). This paper considers the possibility of obtaining an active mineral addition from finely ground waste glass. Information is presented concerning the phase composition of the addition, and its influence on the characteristics of cement pastes, cement-sand mortar, and concrete is studied. The use of such mineral additions contributes simultaneously to reducing the amount of waste and the dosage of cement in concrete, i.e. both economic and environmental effects are achieved.

¹ Ivan Rostovsky, Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: rostovsky_fce@uacg.bg