



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590108](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590108)

Получена: 30.09.2025 г.

Приета: 09.12.2025 г.

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ МЕЖДУ БЕТОНИ, ПРОЕКТИРАНИ ЗА КЛАС ПО ЕКСПЛОАТАЦИОННО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ХС2 И ХС3, ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА АКТИВНА МИНЕРАЛНА ДОБАВКА ТРАС

И. Дойков¹

Ключови думи: трас, класове по въздействие, влияние върху физико-механичните свойства на бетона

РЕЗЮМЕ

Статията изследва как активната минерална добавка трас влияе върху физико-механичните свойства на бетоните. Изследвани са смеси с 18 %, и 25 % замяна на цимента с трас за бетони, предназначени за класове по експлоатационно въздействие ХС2 и ХС3. Установено е оптимално количество силно водонамаляваща химическа добавка за получаване на еднакъв клас по консистенция на бетонните смеси. Изследвани са нарастването на якостта на натиск и Е-модулът до 90-ия ден. Извършена е оценка за различията в устойчивостта на циклично замразяване и размразяване, както и на свиването (съсхването) на тези бетони в зависимост от съдържанието на трас в свързващото вещество.

1. Въведение

През последните години, поради екологични съображения в ЕС и в частност в България, топлоцентралите поетапно променят енергийния си източник от въглища на природен газ и възобновяеми енергийни източници [1]. Тази трансформация рефлектира върху наличието на отпадъчния продукт легяща пепел от ТЕЦ, който от над 40 години се ползва в циментовото производство и производството на бетон.

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

Трасът е естествена пуцоланова активна минерална добавка от вулканичен произход, състояща се основно от фино фрагментиран туф, пемза и вулканично стъкло с високо съдържание на аморфен силициев диоксид (SiO_2) и алуминиеви оксиди (Al_2O_3) [2]. За разлика от традиционно използваните летяща пепел и гранулирани доменни шлаки, чието производство зависи от индустриални отпадъци, трасът е естествено срещан материал със значителни налични залежи. Това го прави особено ценен в условията на намалената достъпност на традиционни пуцоланови добавки.

Според изискванията на таблица NA.F.2 от Националното приложение на стандарта за бетон БДС EN 206 [3] за бетони при класове по въздействие на околната среда ХС (корозия, предизвикана от карбонизация) могат да се прилагат смесени портландцименти (СЕМ II) с естествени пуцоланови добавки (Р) във всички случаи – от ХС1 до ХС4, като се допуска заместване на портландцимента с добавка до 35 % (СЕМ II/А и СЕМ II/В). В тази връзка разработката има за цел да разгледа възможното приложение и базови проблеми при евентуално производство на смесени портландцименти СЕМ II с различна замяна на цимента с трас

В изследването е използван трас от находище в Гърция, който е напълно достъпен като технически продукт в България. По отношение на възможностите за използване на гръцки трас в производството на бетон са налични редица статии. Sainis et al. [4] чрез химични методи и метод на Chapelle [5] установяват добра пуцоланова активност. Изследвания за механични свойства на циментови разтвори, показващи положителни резултати, са проведени от Yetgin and Cavdar [6] и Valog et al. [7], като не е изследвано влиянието на активната минерална добавка върху бетони.

2. Материали, изисквания към съставите и методи на изпитване

2.1. Материали

Използваните материали и техните технически характеристики са както следва:

Трас със съдържание на $\text{SiO}_2 \approx 68\%$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 12\%$. Специфична плътност $2,38 \text{ g/cm}^3$.

Смесен портландцимент СЕМ II/А-Р 42,5. Замяна на цимента с трас 18 %. Специфична плътност $2,95 \text{ g/cm}^3$. Стандартна консистенция 34 %. Активност 51,0 МПа.

Смесен портландцимент СЕМ II/В-Р 42,5. Замяна на цимента с трас 25 %. Специфична плътност $2,85 \text{ g/cm}^3$. Стандартна консистенция 36,5 %. Активност 48,7 МПа.

Речен пясък със специфична плътност $2,60 \text{ g/cm}^3$.

Трошен пясък със специфична плътност $2,78 \text{ g/cm}^3$.

Трошен камък със специфична плътност $2,78 \text{ g/cm}^3$.

Силно водонамаляваща добавка (СВД) с плътност $1,20 \text{ g/cm}^3$. Намаляване на направната вода с 22 %, при влагане на 0,5 % от масата на цимента, съгласно изискванията на БДС EN 934-2 [8].

2.2. Изисквания към съставите

Съгласно БДС EN 206 [9] концепцията за k-value се прилага само за минерални добавки, които се влагат допълнително при производството на бетона. Целта е да се отчете приносът на тези материали към общото количество свързващо вещество чрез еквивалентното им съдържание на цимент при определяне на максималното водоциментно отношение. При използване на готови смесени портландцименти, в които

пуцоланът е част от състава, определен от производителя, k-value не се прилага за вложеното количество. Свойствата и ефектът на включената пуцоланова добавка са отчетени в експлоатационните показатели на цимента.

В табл. 1 са представени граничните стойности за съставите на бетони с клас по експлоатационно въздействие XC2 и XC3 съгласно таблица NA.F.1 от БДС EN 206/NA [3].

Таблица 1. Гранични стойности за състав и свойства на бетон съгласно [3]

Свойство	Корозия, предизвикана от карбонизация	
	XC2	XC3
Минимално w/c	0,60	0,55
Минимален клас по якост	C25/30	C30/37
Минимално съдържание на цимент	280	280
Минимално съдържание на цимент СЕМ II/B	290	300

Рецептурните състави са представени в табл. 2.

Таблица 2. Рецептури на изследваните състави в kg за 1 m³

Състав	Клас по възд.	Вид цимент	Цимент	Вода	Речен пясък	Трошен пясък	Трошен камък 4/11,2	Трошен камък 11,2/22,4	Силно водонам. добавка
Състав А	XC3	СЕМ II/A	320	176	600	220	530	530	2,2 – 3,0 %
Състав В	XC2	СЕМ II/B	330	190	590	220	500	510	2,5 – 3,0 %

2.3. Методи на изпитване

В изследването са използвани стандартните методи за изпитване, както следва:

- консистенция на бетонната смес чрез слягане съгласно БДС EN 12350-2 [10];
- якост на натиск на втвърден бетон съгласно БДС EN 12390-3 [11];
- Е-модул на втвърден бетон съгласно БДС EN 12390 [12];
- устойчивост на циклично замразяване и размразяване на втвърден бетон по ускорен метод съгласно БДС EN 206/NA [3];
- свиване (съсхване) на втвърден бетон съгласно БДС EN 12390-16 [13].

3. Резултати и оценка

3.1. Консистенция на бетоновата смес

Проектната консистенция на съставите е клас S4 (от 15 cm до 21 cm). При сходни състави, но с популярна активна минерална добавка от летящи пепели, е определено оптимално съдържание на СВД 0,7 % от масата на свързващото вещество. Установено е, че смесените цименти с трас имат значително по-голяма водопотребност, като при горепосоченото съдържание на силноводонамаляваща добавка слягането на състав В е едва 3 cm, което не отговаря на технологичните изисквания при използване на бетон

помпа. За целта е увеличено количеството на СВД, което за различните партиди трас не е едно и също, но е установено, че за състав А то варира в границите $2,2 \% \div 3,0 \%$, докато при състав В е малко по-различно – $2,5 \% \div 3,0 \%$. При тези концентрации на химическата добавка двата състава показват сходна начална консистенция от слягане $20 \text{ cm} \div 23 \text{ cm}$.

Важно е да се отбележи, че е търсено слягане в горния диапазон на клас S4, защото водопотребността на траса е леко отложена във времето и около 10 до 15 минути след забъркването консистенцията на сместа намалява с около 5 cm. Това я поставя на границата с клас S3, който също е подходящ за полагане с бетон помпа.

3.2. Свойства на втвърдения бетон

Изменението на якостта на натиск на изследваните състави е представено в табл. 3.

Таблица 3. Якост на натиск на различни възрасти

Състав	Плътност kg/dm ³	Якост на натиск 7-и ден N/mm ²	Якост на натиск 28-и ден N/mm ²	Якост на натиск 90-и ден N/mm ²
Състав А	2,36	39,2	57,3	63,0
Състав В	2,41	32,8	47,0	51,9

От получените резултати се вижда, че в начално (до 7-ия ден) състав А има якост, с около 20 % по-висока от тази на състав В. В следствие до 28-ия и 90-ия ден тази тенденция се запазва. Това показва, че по отношение на набиране на якост във времето няма съществено забавяне при състав В (с 25 % замяна на цимента с трас) спрямо състав А (с 18 % замяна). И при двата цимента до 7-ия ден якостта съставлява над 65 % от якостта на 28-ия ден, което показва добро сходство с повечето от останалите смесени портландцименти, при повечето от които този процент се движи в диапазона $55 \% \div 65 \%$.

Изменението на Е-модула на изследваните състави е представено в табл. 4.

Таблица 4. Е-модул на различни възрасти

Състав	Е-модул 7-и ден N/mm ²	Е-модул 28-и ден N/mm ²	Е-модул 90-и ден N/mm ²
Състав А	19300	31700	33000
Състав В	16100	28700	30700

Кинетиката на нарастване на Е-модула показва, че на 7-ия ден Е-модулът е между 55 % и 60 % от този на възраст 28 дни. Важно е, че тези бетони значително се отличават от бетони, изпълнени с портландцимент (СЕМ I), при които този процент е около 65 % до 70 %. Горното следва да се има предвид при определяне на възрастта на декофриране и преподпиране на конструктивни елементи, изпълнявани от бетони с трас, поради намалената коравина (Е-модул, умножен по инерционен момент) в ранна възраст. Между 28-ия и 90-ия ден тези бетони показват сравнително малко повишаване на модула от 4 % за състав А, до 7 % за състав В.

Резултатите от устойчивостта на циклично замразяване и размразяване са представени в табл. 5.

Таблица 5. Мразоустойчивост

Състав	Максимален брой цикли при ускорено изпитване	Съответствие на клас по мразоустойчивост
Състав А	3	C _{fr} 100
Състав В	2	C _{fr} 75

Резултатите потвърждават очакваната тенденция, че по-голямото количество от пуцоланова активна минерална добавка води до влошаване на мразоустойчивостта на съставите.

Състав А отговаря и на изискванията за клас по експлоатационно въздействие XF1, както по отношение на Таблица NA.F.1^a от БДС EN 206/NA [3] за граничните стойности за състава и свойствата на бетона, така и по отношение на Таблица NA.F.2 за приложимост на циментите за класовете бетон по въздействие. Това показва, че трасът, като минерална добавка, не се представя по-лошо от останалите слабо активни естествени и изкуствени минерални добавки по отношение на мразоустойчивостта на бетоните.

Резултатите от съсъхването на бетона са представени в табл. 6.

Таблица 6. Съсъхване на бетона на различни възрасти

Състав	Съсъхване 7-и ден mm/m	Съсъхване 14-и ден mm/m	Съсъхване 21-и ден mm/m	Съсъхване 28-и ден mm/m
Състав А	0,198	0,365	0,423	0,443
Състав В	0,208	0,376	0,445	0,474

От таблицата се вижда, че в началото (7-ия ден) съставите развиват близко свиване, като разликата е около 5 %. След това, до крайната изследвана възраст, разликата в съсъхването им е в границите от 3 % до 7 %. Това показва, че наличието на трас, принципно водещо до повишено съсъхване на бетоните, не се влияе значително при промяна на съдържанието му в границите от 18 % до 25 %.

4. Основни изводи

На базата на извършените изследвания, представени в т. 3, могат да се направят следните основни изводи по отношение на различията на бетони, предназначени за класове по експлоатационно въздействие XC2 и XC3:

1) Добавянето на трас в количество 18 % и 25 % води до увеличена потребност от силно водонамаляваща добавка за осигуряване на еднаква обработваемост на бетонна смес, като ефектът е по-изразен при по-високото съдържание на трас.

2) Водопотребността на траса е леко отложена във времето и около 10 до 15 минути след забъркването консистенцията на смеси клас S4 намалява с около 5 cm, с което класът може да достигне до S3.

3) Съставите със замяна на цимента с трас в количества 18 % и 25 % показват сходна скорост на нарастване на якостта на натиск. На възраст 7 дни якостта им на натиск съставлява около 65 % от тази на възраст 28 дни, което показва добро сходство с повечето от останалите смесени портландцименти.

4) При изследваните бетони стойността на Е-модула на възраст 7 дни съставлява 55 % до 60 % от модула на 28 дни. Това е значително по-ниско отколкото при бетони, изпълнени с портландцимент (СЕМ I) и следва да се има предвид при технологичните процеси при извършване на СМР.

5) При влагането на трас мразоустойчивостта на бетоните намалява пропорционално на вложеното количество. Установено е, че стойността на съсъхването на бетоните не се влияе значително при промяна на количеството трас в границите от 18 % до 25 %.

6) От практическа гледна точка състав с 18 % трас може да се препоръча за конструкции, изложени на външни условия (класове на експлоатационно въздействие XF1 в комбинация с XC2 или XC3), докато състав с 25 % трас е по-подходящ за вътрешни конструкции, където няма изисквания за мразоустойчивост.

7) Отвъд чисто техническите резултати използването на трас допринася и за намаляване на въглеродния отпечатък на бетона чрез частичното заместване на клинкера, което има положителен екологичен и икономически ефект.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. European Commission. Clean energy for all Europeans package (2022) – Overview.
2. *Snellings R., Mertens G., Elsen J.* (2012) Supplementary cementitious materials, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 74(1), 211 – 278.
3. БДС EN 206:2013+A2:2021/NA:2021 Concrete – Specification, performance, production and conformity – National Annex (NA).
4. *Sainis, T., Kakali, G., Pomonis, P., Vasilatos, C. A* (2023) Comparative Study on the Properties of Volcanic Rocks from the Aegean Islands, Greece, for Utilization as Pozzolanic Additives in Cement. *Materials Proceedings*. 15(1), 21.
5. NF P18 – 513:2012 Addition for concrete – Metakaolin – Specifications and conformity criteria, AFNOR – Association Française de Normalisation.
6. *Yetgin, S., Cavdar, A.* (2006) Study of Effects of Natural Pozzolan on Properties of Cement Mortars. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18 (6).
7. *Balog, A., Cobirzan, N., Aciu, C., Ilutiu-Varvara, D.* (2014) Valorification of Volcanic Tuff in Constructions and Materials Manufacturing Industry. *Procedia Technology*, 12, 323 – 328.
8. EN 934-2:2009+A1:2012 Admixtures for concrete, mortar and grout – Part 2: Concrete admixtures – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling.
9. EN 206:2013+A2:2021 Concrete – Specification, performance, production and conformity.
10. EN 12350-2:2019 Testing fresh concrete – Part 2: Slump test.
11. EN 12390-3:2019 Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens.
12. EN 12390-13:2021 Testing hardened concrete – Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression.
13. EN 12390-16:2020 Testing hardened concrete – Part 16: Determination of the shrinkage of concrete.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONCRETES DESIGNED FOR EXPOSURE CLASSES XC2 AND XC3 USING THE ACTIVE MINERAL ADDITIVE TRASS

I. Doykov¹

Keywords: trass, exposure classes, influence on the physico-mechanical properties of concrete

ABSTRACT

The paper investigates the influence of the active mineral additive trass on the physico-mechanical properties of concrete. Mixtures with 18 % and 25 % replacement of cement with trass were studied for concretes designed for environmental exposure classes XC2 and XC3. An optimal dosage of a high-range water-reducing admixture was determined to achieve the same consistency class for all mixes. The development of compressive strength and elastic modulus was monitored up to 90 days. An assessment was also made of the differences in resistance to freeze-thaw cycles and drying shrinkage, depending on the trass content in the binder.

¹ Ivan Doykov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: idoikov_fce@uacg.bg