



Получена: 19.12.2022 г.

Приета: 30.01.2023 г.

УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА МОДЕЛНИ АГРЕСИВНИ СРЕДИ ВЪРХУ ИЗМЕНЕНИЕТО НА МОДУЛА НА ЕЛАСТИЧНИТЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВЯБ

К. Йорданова¹

Ключови думи: супервисокоякостен бетон (СВЯБ), модул на еластични деформации, агресивни среди

РЕЗЮМЕ

Статията представя резултатите от изследване на модула на еластичните деформации при натиск на супервисокоякоствени бетони (СВЯБ). Изследвано е влиянието на два различни състава на матрицата на СВЯБ, подложени на циклично действащи моделни агресивни среди, с различна концентрация. Установена е добра съпоставимост на резултатите, получени от двата изследвани състава.

1. Въведение

Настоящото изследване е посветено на дълготрайността на супервисокоякоствени бетони. Подобрената устойчивост на СВЯБ на химични агресивни среди, в сравнение с тази на обикновените бетони, се дължи главно на тяхната много по-ниска проникваемост и пропускливост на агресивни агенти, както и на различните хидратационни продукти в матрицата.

¹ Камелия Йорданова, ас. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: jordanova_fce@uacg.bg

2. Експериментално изследване

2.1. Изследвани състави

Целта на това изследване е да бъде сравнен модулът на еластичните деформации при натиск на два състава на СВЯБ (състав А и състав О) след въздействие на различни по вид и концентрация агресивни среди.

Състав А е състав с максимален размер на зърната $D_{\max} = 0,5 \text{ mm}$, с химическа добавка в количество 4 % от масата на цимента и водоциментно отношение, равно на 0,22.

Състав О е състав с максимален размер на зърната $D_{\max} = 8 \text{ mm}$, с химическа добавка в количество 3 % от масата на цимента и водоциментно отношение, равно на 0,22.

Вложените добавъчни материали в изследваните състави са от киселиноустойчиви скали, а използваната химическа добавка е поликарбоксилатна силноводо намаляваща.

Изборът за използваните химични агресивни среди е направен от литературата [1, 2]. Възприето е концентрацията на водните разтвори да се променя в границите 5 % и 10 %, като такава съгласно действащите у нас стандарти (БДС 9075) и норми среда се класифицира като силно агресивна. Провежданите лабораторни изпитвания целят моделиране на корозионните процеси на бетона в относително кратки срокове, поради което концентрациите на водните разтвори са завишени по отношение на нормативните стойности за различните степени на агресивност спрямо бетона.

2.2. Пробни тела

Поради дребнозърнестия характер на матрицата на СВЯБ изпитването позволява изследваните пробни тела да са призми с размери 40/40/160 mm. След декофриране на едnodневна възраст пробните тела отлежават под вода до 28-дневна възраст. Тогава се определят т.нар. контролни стойности на изследваните състави. Непосредствено след това пробните тела от всеки състав се подлагат на циклично действие в агресивните среди от водни разтвори NaCl и Na₂SO₄ с различна концентрация (5 % и 10 %).

Продължителността на въздействие на агресивните среди върху бетона е изразена в цикли (4, 8 и 12 цикъла), като всеки отделен цикъл включва:

- пълно потапяне на бетоновите пробни тела в съответните разтвори на NaCl и Na₂SO₄ в продължение на шест денонощия, при атмосферно налягане, с воден стълб над пробите, не по-голям от 2 cm;
- изваждане, забърсване на повърхността и изсушаване в сушилен шкаф при температура +60 °C, в продължение на 24 часа.

След охлаждане до стандартна температура ($20 \pm 5^\circ$), пробите отново се поставят във ваните, съдържащи водни разтвори на съответните агресивни среди, до достигане на определения брой цикли.

2.3. Методика на изследването

Деформационните свойства при натоварване са определени на различни състави на СВЯБ преди и след въздействие на агресивно влияние. Използвана е методиката по EuroCode 2 [3], която се прилага у нас за определяне на Е-модула на обикновени бетони

(фиг. 1). Натоварването е реализирано с постоянна скорост от 0,2 N/s. Изпитването е извършено при температура 20 ± 5 °C и относителна влажност на въздуха от 60 ± 10 %.



Фиг. 1. Изпитване Е-модул на пробни тела призми 40/40/160 mm

Модулет на еластичност се изчислява по формула 1, където е представен като отношение на промяната на напрежението, отнесено към промяната на деформацията, т.е. изчислява се като тангенс от ъгъла на секущата с абсцисата на работната диаграма „напрежение-относителна надлъжна деформация“

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}, \quad (1)$$

където $\Delta\sigma$ е промяната на напрежението между горната σ_a и долната σ_b степен на натоварването, т.е. $\Delta\sigma = \sigma_a - \sigma_b$;

$\Delta\varepsilon$ – промяната на относителната деформация между долната и горната степен на натоварване, изчислява се по формула 2:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2)$$

където Δl е разликата в отчетите на деформометъра при горна и долна граница на натоварването;

l – базата на деформометъра в mm.

Осреднени са отчетите между левия и десния деформометър.

Напреженията, при които са отчетени деформациите, са съответно $\sigma_b = 0,5$ МПа и $\sigma_a = 0,4f_{c,pr}$ (където $f_{c,pr}$ представлява призменият якост на натиск). Горната граница на натоварване е до 40 % от максималната якост на натиск, поради по-високата граница на еластичност при СВЯБ. По-високата горна граница е избрана по литературни данни, тъй като е известно, че линейната зависимост между напрежението и деформацията при СВЯБ се запазва дори до натоварване до около 80 % от якостта на натиск [4].

За определяне на модула на еластичност са изпитани по три броя пробни тела призми (40/40/160 mm) от всеки един изследван състав след третиране в агресивни среди, като е взета средно аритметичната им стойност.

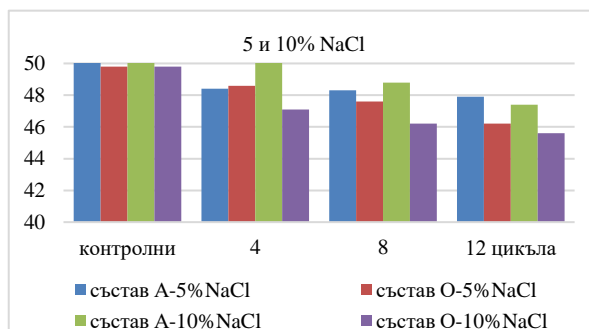
3. Анализ на получените резултати

Резултатите от проведеното изпитване за определяне на деформационните свойства на изпитваните състави, получени преди (т.нар. контролни) и след третиране в агресивните среди, са представени таблично – табл. 1.

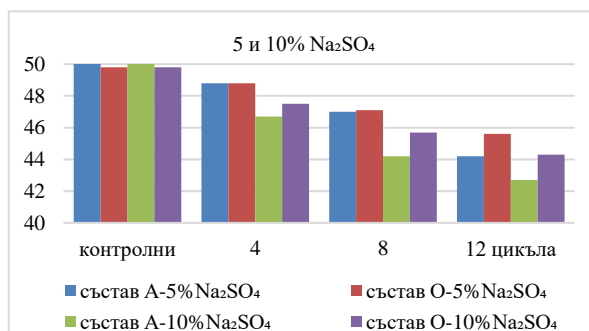
Таблица 1. Е-модул на състави на СВЯБ след третиране в различните среди

Състав	А	О	А	О	А	О	А	О
Среда, %	5 % NaCl	5 % NaCl	10 % NaCl	10 % NaCl	5 % Na ₂ SO ₄	5 % Na ₂ SO ₄	10 % Na ₂ SO ₄	10 % Na ₂ SO ₄
Е-модул, GPa контролни	50,1	49,8	50,1	49,8	50,1	49,8	50,1	49,8
Е-модул, GPa след 4 цикъла	48,4	48,6	50,7	47,1	48,8	48,8	46,7	47,5
Е-модул, GPa след 8 цикъла	48,3	47,6	48,8	46,2	47	47,1	44,2	45,7
Е-модул, GPa след 12 цикъла	47,9	46,2	47,4	45,6	44,2	45,6	42,7	44,3

На фиг. 2 и 3 е показано графично изобразяване на опитните резултати, преди и след определен брой циклично въздействие на агресивните среди.



Фиг. 2: Изменение в Е-модула (GPa) след престой в разтвор на 5 и 10 % NaCl



Фиг. 3: Изменение в Е-модула (GPa) след престой в разтвор на 5 и 10 % Na₂SO₄

Резултатите за модула на еластичност след въздействието на агресивните среди са сравнени с резултатите, получени за контролите, включително и като процентно изменение.

Като цяло, водният разтвор на NaCl (фиг. 2) се оказва по-малко агресивна среда по отношение на загубата на Е-модул при СВЯБ. След направен анализ се установява, че след 12 цикъла в 5 % разтвор на NaCl, състав А (състава с $D_{\max} = 0,5$ mm) по отношение на контролата показва най-малка промяна на Е-модула – от 50,1 GPa на 47,9 GPa (изменение от порядъка на 4 %), докато при състав О (състава с $D_{\max} = 8$ mm) редуцията е почти два пъти по-голяма – от 49,8 GPa (контрола) на 46,2 GPa (изменение от около 7 %).

След 12 цикъла в 10 % разтвор на NaCl загубата на Е-модул при състав А спрямо контролата нараства от 50,1 GPa на 47,4 GPa (изменение от порядъка на 5 %), докато с повишаване на концентрацията на средата на 10 % редуцията в Е-модула при състав О нараства от 49,8 GPa (контрола) на 45,6 GPa (изменение от порядъка на 9 %).

Според представения анализ по-агресивна среда за двата състава се оказва тази с наличието на сулфатни йони SO_4^{2-} (фиг. 3). Е-модулът при състав О показва редуция спрямо контролата от 49,8 GPa на 45,6 GPa (изменение от порядъка на 8 %) след третиране в 5 % разтвор на Na_2SO_4 , но при състав А загубата по отношение на контролата е по-висока – от 50,1 GPa на 44,2 GPa (изменение от порядъка на 11 %).

По-значителна редуция от контролата се забелязва след 12 цикъла престой в 10 % разтвор на Na_2SO_4 при състав А – от 50,1 GPa на 42,7 GPa (промяната е до около 15 %), последван от състав О, при който изменението в сравнение с контролата е от 49,8 GPa на 44,3 GPa (редуция от 11 %).

4. Изводи

- Кolkото е по-висок процентът на концентрация на агресивната среда в разтвора, толкова е по-голяма е промяната в деформационните свойства на изпитваните състави.
- Установено е, че модулът на еластичност намалява в относително по-голяма степен при състав А, но не надвишава 15 %. Следователно, наличието на киселиноустойчив по-едрозърнест добавъчен материал в матрицата на състав О допринася за по-голямо постоянство на експлоатационните характеристики в условията на агресивна среда.
- В заключение, СВЯБ предоставят възможности за влагане в различни строителни съоръжения, в условията дори на силноагресивни среди. Прилагането на относително по-едрозърнест състав ($D_{\max} = 8$ mm) дава възможност не само за понижаване на себестойността на СВЯБ, но и за осигуряване на по-голяма дълготрайност.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Abbas, S., Nehdi, M. L., Saleem, M. A. Ultra-High Performance Concrete: Mechanical Performance, Durability, Sustainability and Implementation Challenges. // International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 10, No. 3, pp. 271 – 295, September 2016 DOI 10.1007/s40069-016-0157-4 ISSN 1976-0485 / eISSN 2234-1315.*

2. *Piotr Smarzewski, Danuta Barnat-Hunek*. Effect of Fiber Hybridization on Durability Related Properties of Ultra-High Performance Concrete. // International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 11, No. 2, pp. 315 – 325, June 2017 DOI 10.1007/s40069-017-0195-6 ISSN 1976-0485 / eISSN 2234-1315.

3. БДС EN 1992-1-1:2004/NA.2015, Evrokod 2: Proektirane na betonni i stomanobetonni konstruksii. Chast 2: Obshti pravila i pravila za sgradi. Natsionalno prilozhenie (NA).

4. *Richard, Cherezy*. Composition of Reactive Powder Concretes. Cement and concrete Research, v. 25, i. 7, October 1995, Pages: 1501 – 1511.

ESTABLISHING THE INFLUENCE OF MODEL AGGRESSIVE ENVIRONMENTS ON THE CHANGE OF MODULUS OF ELASTIC DEFORMATIONS OF THE UHPC

K. Yordanova¹

Keywords: *ultra-high-performance concrete (UHPC), modulus of elastic deformations, aggressive environments*

ABSTRACT

The paper presents the results of a study of the modulus of elastic deformations under pressure of ultra-high-performance concrete (UHPC). The influence of two different compositions of the UHPC matrix subjected to cyclically acting model aggressive environments, with different concentrations is investigated. A good comparability of the results obtained from the two studied compositions is established.

¹ Kameliya Yordanova, Assist. Prof. Dr. Eng, Dept. “Building Materials and Insulations”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: jordanova_fce@uacg.bg