

САМОУПЛЪТНЯВАЩ СЕ БЕТОН – ПРИЛОЖЕНИЕ В ТРАНСПОРТНИТЕ СЪОРЪЖЕНИЯ

Петя Стефанова, Благойка Пълева-Кадийска,¹ Симеон Бояджиев²
p_stefanova@vtu.bg, bip-kadiyska@vtu.bg, Sbojadjiev@yahoo.com

¹*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574*

²*Университет по архитектура, строителство и геодезия
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: самоуплътняващ се бетон, якост на натиск, агресивна среда

Резюме: Самоуплътняващият се бетон (от англ. *Self Compacting Concrete*) представлява силно пластична смес, която е проектирана така, че да се самоуплътнява под действие на собствената тежест, поради което представлява идеално решение при елементи с висок процент на армиране. Употребата на цимент, пясък и вода е както при обикновен бетон, а особеностите в състава са ограничаване на максималния диаметър на едрия добавъчен материал, добавянето на фина минерална добавка и използването на суперпластификатори. Този сравнително нов вид строителен материал притежава по-плътна структура в сравнение с конвенционалния бетон при едно и също водоциментно отношение, което го прави подходящ за употреба при съоръжения, подложени на агресивно въздействие.

Разгледани са основните методики за изпитване на прясната смес на самоуплътняващ се бетон (СУБ), като са дадени препоръчителни интервали, в които стойностите от изпитванията трябва да попадат. Проведен е подробен сравнителен анализ между състави от обикновен бетон и СУБ с едно и също водоциментно отношение. Изследвания са якостите на натиск за различните състави както в нормални условия, така и при продължително въздействие на агресивна среда с различна концентрация. Направени са съответните изводи, които доказват приложимостта на СУБ при различни транспортни съоръжения.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

За „изобретател“ на самоуплътняващия се бетон (СУБ) се смята японският учен Окамура, създал този вид бетон през втората половина на 1980 г. В периода от 1950 г. до 1960 г. строителният сектор в Япония бележи силен подем, с множество големи проекти, които изискват кратки срокове за реализиране, както и качествено изпълнение. Сформиран е екип начело с Окамура [1,2] от университета в Токио, който екип установява, че незадоволителното уплътняване е една от най-честите причини за влошаване състоянието на изградените конструкции [3]. Научният екип, който включва и други учени като К. Маекава, К. Озава и М. Оучи [1,2], предлага решение на проблема чрез използването на бетон, който може да се самоуплътнява.

Целта на разработката е след проведено литературно проучване и анализ да се изпитат опитни образци и да се установи приложимостта на СУБ в съвременните транспортни съоръжения. На тази база са направени изводи за неговите специфики и възможности за бъдещи научни изследвания.

2. САМОУПЛЪТНЯВАЩ СЕ БЕТОН (СУБ)

2.1. Приложение на СУБ в световен мащаб и у нас

Състави на СУБ в монолитното строителство се прилагат успешно в Япония, САЩ и в страните от Европа.

СУБ представлява силно пластична смес, която не се разслоява и може да запълва кофражните форми без необходимост от допълнително вибриране, поради което този вид бетон представлява идеално решение за елементи с висок процент на армиране.

Най-значимите обекти, реализирани чрез използване на СУБ в Япония, са устоите на моста „Akashi-Kaikyo”, построен през април 1998 г. и въженият мост Shin-kiba Ohashi bridge, въведен в експлоатация през юни 1990 г. Сложната архитектурна форма на National Museum of American Indian, намиращ се в Ню Йорк, САЩ, също е изпълнена със СУБ.

У нас СУБ се прилага от 2003 г. за усилване на дефектирали стоманобетонени елементи от носещата конструкция на Трета кула на „Агрополихим” – Девня, възстановяване на конструкцията на ВЕЦ ”Тополница” и др.

2.2. Особенности в състава на СУБ

При проектиране на състава на СУБ трябва да се отчитат някои особености, които са дадени в препоръките и предписанията на EFNARC [4,5], както следва:

- $V/P=(0,85\div 1,1)$ по обем – представлява отношението на водата към общото прахово съдържание (цимент и фина минерална добавка);
- Общо прахово съдържание = $(380\div 600)$ кг/м³ – представлява общото съдържание на цимент и фина минерална добавка;
- Едър добавъчен материал (ЕДМ) = $(750\div 1000)$ кг/м³;
- Вода = $(150\div 210)$ л/м³;
- Пясък = $(48\div 55)$ % от общата маса на пясъка и ЕДМ, взети заедно.

За да се избегне блокиране на зърната на ЕДМ при преминаване през гъсто разположени армировъчни пръти (висок процент на армиране), при съставите на СУБ се ограничава максималната големина на зърната на едрия добавъчен материал (≤ 20 мм) [5].

Контролът върху свойствата на СУБ – саморазстилане и устойчивост, се постига посредством употребата на суперпластификатори (СП). Ако се очакват колебания във влажността на добавъчните материали, е препоръчителна употребата на добавки, модифициращи вискозитета (ДМВ).

Задължителна е употребата на фина минерална добавка, която заедно с цимента прави сместа по-устойчива. За фини добавки се смятат частици с големина $\leq 0,125$ мм.

Като фина минерална добавка могат да се използват мраморно брашно, метакаолин, микросилициев прах, каменно брашно, тецова пепел [6] и други, като е задължително предварително да се отчетат особеностите при употребата на съответната фина минерална добавка.

2.3. Изпитвания на прясната смес на СУБ

За да определи един бетон като самоуплътняващ се, прясната бетонова смес трябва да се изпитва на поне две от разгледаните по-долу методики. Същите са проведени по време на научните експерименти, докладвани в настоящата статия.

- **Изпитване на разстилане - БДС EN 12350-8 [7]**

Методът на разстилане представлява оценка на „течливостта“ на СУБ при липса на препятствия (за препятствие се възприема вложената в кофражната форма армировка). След като разстилането на СУБ смес е спряло, може визуално да се провери за склонността на сместа към сегрегация. В случай на силна сегрегация най-големите зърна на ЕДМ ще останат в центъра на окръжността и циментовото тесто ще се придвижи към периферията. Допустимите граници за разстилане са (650÷800) mm. Снимков материал от проведено изпитване в лаборатория по строителни материали в УАСГ по време проведените научни изследвания е показан на фиг. 1а.



Фиг. 1а. Изпитване на разстилане



Фиг. 1б. Изпитване с L кутия

- **Изпитване с L кутия - БДС EN 12350-10 [8]**

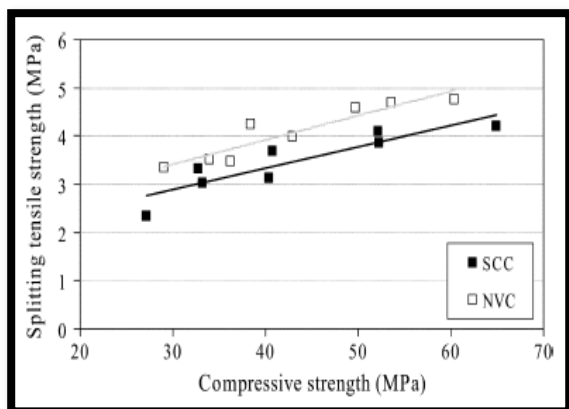
Тестът с L-кутия се използва за оценка на способността на СУБ смес да преминава през тесни отвори, без това да доведе до разслояване, сегрегация или блокиране. Преминаващата способност (РА-passing ability) се изчислява като отношение $PA = H2/H1$. Ако бетонът преминава свободно и се получи абсолютно хоризонтиране, то $H2/H1 = 1$. Колкото отношението $H2/H1$ е по-близко до единица, толкова преминаването на бетона е по-добро. Допустимите граници за това изпитване са $H2/H1 \geq 0,8$. Подобно изпитване е направено по време на научните изследвания отново в лаборатория по строителни материали в УАСГ, а снимката на фиг. 1б е от него.

3. ВЛИЯНИЕ НА АГРЕСИВНАТА СРЕДА ВЪРХУ ЯКОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА БЕТОНА

3.1. Основни зависимости в якостта на натиск при бетона без въздействие на агресивна среда

При сравняване на състави от конвенционален бетон и СУБ [9], [10] при едно и също В/Ц отношение прави впечатление, че обикновеният бетон има по-добри якостни характеристики. Това се обяснява с по-високото съдържание на фини частици в съставите на СУБ, от една страна, а от друга – с по-голямото количество ЕДМ в състава на обикновения бетон. Аналогични са и резултатите при изпитване на якост на опън при разцепване – обикновеният бетон дава по-високи стойности.

При проведени сравнителни изпитвания между състави на обикновен бетон и СУБ с две различни В/Ц отношения, а именно В/Ц=0,45 и В/Ц=0,55, наблюдаваната зависимост се запазва. По-високото В/Ц отношение дава по-ниска крайна якост на натиск, което важи както при обикновен бетон, така и за съставите на СУБ. При сравнение между СУБ и конвенционален бетон, последният има по-високи якостни характеристики, видно от фиг. 5 и фиг. 6.



Фиг. 3. Якост на опън при разцепване за обикновен бетон /NVC/ и СУБ /SCC/ [9]

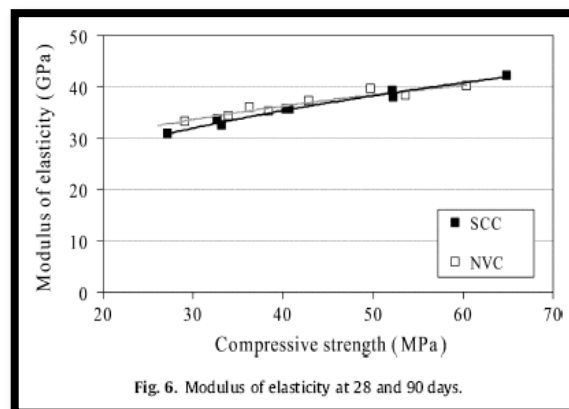
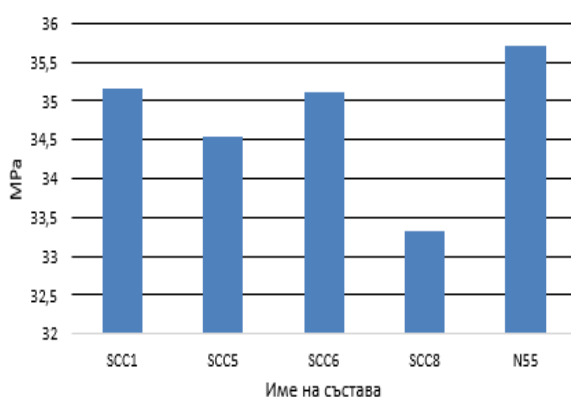
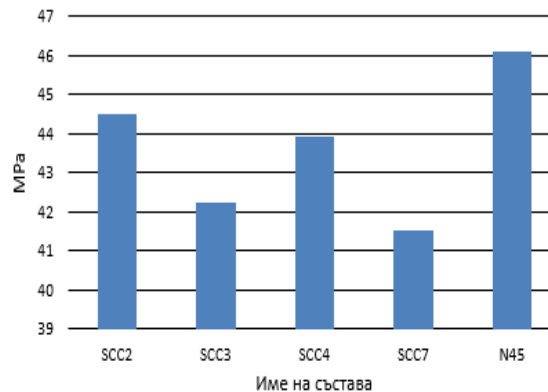


Fig. 6. Modulus of elasticity at 28 and 90 days.



Фиг. 5. Якост на 28-ми ден при състав на обикновен бетон N55 и състави на СУБ /SCC/ при В/Ц=0,55



Фиг. 6. Якост на 28-ми ден при състав на обикновен бетон N45 и състави на СУБ /SCC/ при В/Ц=0,45

За стойности на В/Ц=0,55 съставите от СУБ показват по-ниска якост на натиск в сравнение с обикновен бетон с около 4%. За В/Ц=0,45 обикновеният бетон има якост на натиск с около 5% по-висока от тази на СУБ. Това сравнение потвърждава резултатите, публикувани от Parra [9], че обикновеният бетон има по – добра якост на натиск, което се обяснява с по – голямото съдържание на ЕДМ при едно и също В/Ц отношение.

3.2. Основни зависимости в якостта на натиск при наличие на агресивна среда

Транспортните съоръжения са подложени на временно или постоянно въздействие от различни по вид и концентрация агресивни среди. От една страна, това са транспортни съоръжения, които функционират при променливо водно ниво /устои на мостове/, а от друга – това са пътни елементи, които периодично се третират с агресивни агенти, особено през зимния период.

За да се направи сравнителен анализ за устойчивост на агресивни агенти, между съставите от обикновен бетон и СУБ са направени експериментални изпитвания с различни по вид и концентрация агресивни среди, като получените резултати могат да се обобщят в няколко посоки, разгледани по-долу.

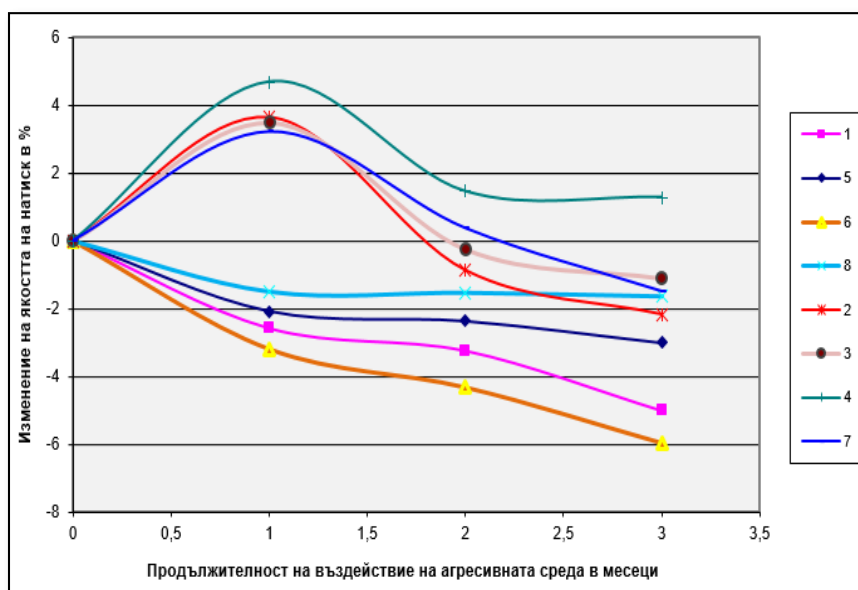
Авторският колектив Audenaert, Voel и Schutter [11] също е изследвал общо 16 състава от СУБ и 4 състава от обикновен бетон. При проведеното от тях изпитване пробните тела са подложени на циклично потапяне в хлориден разтвор, като един цикъл трае приблизително един час. Първата проверка за степента на хлоридна пенетрация е след 6 седмици, а последната е след 36 седмици.

Проведеното изследване установява, че проникването на агресивна среда е

силно повлияно от В/Ц отношение, като при намаляването му дълбочината на проникване също намалява. Също така при съставите на СУБ дълбочината на проникване е по-малка в сравнение с тази при обикновения бетон.

В подобна насока са изследванията, проведени от Persson [12], целящи да установят устойчивостта при циклично замразяване и размразяване, както и загубата на маса на бетонните проби при замразяване след предварително потапяне в разтвор на сол. За определяне на загубата на маса, пробните образци, които са изготвени от състави на обикновен бетон и СУБ, са изцяло потопени в 3% разтвор на NaCl, след което са циклично замразявани и размразявани при температури, съответно -20°C и $+20^{\circ}\text{C}$. Загубата на маса е проверявана след 28, 56 и 112 цикъла. Изводите, до които Persson [12] достига са следните: СУБ показва по-добра мразоустойчивост в сравнение с обикновения бетон и влиянието от замразяване е толкова по-малко, колкото по-голяма е възрастта на пробното тяло при потапяне в агресивна среда за първи път.

Подобни изследвания са проведени и от Тошева [10], като отново е направена съпоставка между състави от СУБ и конвенционален бетон. Кубични пробни тела от двата вида бетон са потопени във воден разтвор на натриев сулфат (Na_2SO_4) с концентрация 5% и 10%. Продължителността на въздействие на агресивната среда върху пробните тела е 1, 2 и 3 месеца. След изтичане на пробния период кубчетата отново са изпитани на якост на натиск. Получените резултати за В/Ц=0,45 и В/Ц=0,55 за двата вида бетон и след престой в 5% и 10% разтвор на натриев сулфат са дадени на фиг. 7 и фиг. 8.



Фиг. 7. Изменение на якостта на натиск при концентрация на агресивната среда 5 % за състави на СУБ

На двете фигури състави с номера 1, 5, 6 и 8 са с В/Ц=0,55, а състави с номера 2, 3, 4 и 7 са с В/Ц=0,45.

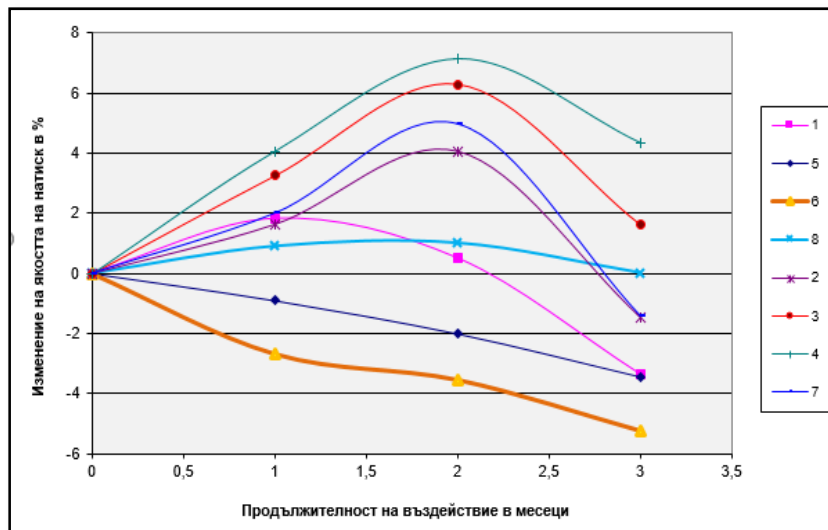
За да могат да се проведат сравнения за спада/нарастването в якостта на натиск за двата вида бетон, са оставени да отлежават под вода бетонови проби от всеки вид. Престоят във вода на контролните състави е същият, както периодът, в който другите пробни тела са подложени на агресивно въздействие. Отчетена е контролната якост на натиск след отлежаване във вода в продължение на 30, 60 и 90 денонощия.

При престой в 5 % воден разтвор на натриев сулфат (фиг. 7) максимумът в нарастването на якостта на натиск, с около 4-6 %, се наблюдава до първия месец престой в агресивна среда. При продължаващо въздействие до третия месец също има

нарастване на якостта на натиск, но изразено в проценти, то е не повече от 2 %, като след 2 месеца и половина се наблюдава вече спад в стойностите на якостта.

При съставите на СУБ с В/Ц=0,55 за целия период има тенденция към спад в якостта на натиск, която тенденция с увеличаване продължителността на престой в агресивна среда се засилва до почти 6 % при състав SCC6.

При престой в 10 % воден разтвор на натриев сулфат (фиг. 8) при всички състави на СУБ с В/Ц=0,45 отново се наблюдава нарастване на якостта на натиск. Ако концентрацията е 10 %, максималното процентно нарастване е по-голямо – около 7 %. При това въздействие максимумът в нарастването на якостта се достига около втория месец, след което се наблюдава по-рязък спад в якостта на натиск в сравнение с агресивна среда с концентрация от 5 %.



Фиг. 8. Изменение на якостта на натиск при концентрация на агресивната среда 10 % за състави на СУБ

4. ИЗВОДИ И НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ:

В резултат на проведените експериментални изследвания и анализ на резултатите, става ясно, че СУБ е подходящ за използване при транспортни съоръжения, работещи при екстремни условия и агресивна среда.

➤ При СУБ остава валидна зависимостта, както при обикновения бетон, че с увеличаване на В/Ц отношение якостта на натиск намалява.

➤ Якостта на натиска на възраст 28 дни при обикновения бетон е по-голяма от тази на СУБ при едно и също В/Ц отношение, дължащо се на по-голямото количество паста в състава на СУБ и по-голямото количество ЕДМ в състава на обикновения бетон.

➤ След отлежаване в агресивна среда съставите от СУБ показват по-високи стойности за якостта на натиск в сравнение със съставите от обикновен бетон със същото водоциментово отношение. Изменението достига максимум до 12 %, което прави съставите на СУБ подходящи за употреба при постоянно и/или периодично действие на агресивни среди.

Бъдещите проучвания могат да изследват връзката бетон-армировъчна стомана при различни условия и в различни бетонни състави.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Н. Okamura, М. Ouchi, (2003), Self-compacting concrete, Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1, №. 1, 5-15;

- [2] H. Okamura, M. Ouchi, (1999), Self-compacting concrete. Development, present and future, 1st International RILEM Symposium on SCC;
- [3] G. Schutter, P. Bartos, P. Domone and J. Gibbs, (2008), Self-compacting concrete;
- [4] Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, EFNARC, 2002.
- [5] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, 2005.
- [6] Б. Петров, П. Тошева, М. Мицов, (2012), Изменение на свойствата на прясната бетонова смес на самоуплътняващи се бетони при използване на различни фини минерални пълнители достъпни на българския пазар, УАСГ 2012, Международна юбилейна научно-приложна конференция;
- [7] БДС EN 12350-8 – Изпитване на бетонна смес. Част 8: Самоуплътняващ се бетон. Изпитване на разстилане;
- [8] БДС EN 12350-10 – Изпитване на бетонна смес. Част 10: Самоуплътняващ се бетон. Изпитване с L-кутия;
- [9] Parra, M. Valcuende, F. Gómez, /March 2010/, Splitting tensile strength and modulus of elasticity of self-compacting concrete, Science direct;
- [10] П. Тошева, (2015), Изследване на сцеплението между самоуплътняващ се бетон и армировъчна стомана в условията на действие на сулфатна агресивна среда, УАСГ;
- [11] K. Audenaert, V. Boel, G. Schutter /September 2007/, Chloride penetration in SCC by cyclic immersion, 5th International RILEM Symposium on SCC;
- [12] B. Persson, /August 2002/, Internal frost resistance and salt frost scaling of SCC, Cement and Concrete Research;

SELF COMPACTING CONCRETE – APPLICATION IN TRANSPORT FACILITIES

Petya Stefanova, Blagoyka Paleva-Kadiyska,¹ Simeon Boyadzhiev²
p_stefanova@vtu.bg, bip-kadiyska@vtu.bg, Sbojadjiev@yahoo.com

¹ *Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.*

² *University of architecture, civil engineering and geodesy – Sofia
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *self compacting concrete, compressive strength, aggressive environment*

Abstract: *Self compacting concrete is a highly plastic mixture that is designed to self-compact under its own weight. This kind of concrete is an ideal solution for elements with a high percentage of reinforcement. The use of cement, sand and water is the same as for ordinary concrete, and the peculiarities in the composition are the limitation of the maximum diameter of the coarse aggregate, the addition of a fine mineral additive and the use of superplasticizers. This relatively new type of construction material has a denser structure than conventional concrete at the same water-cement ratio, which makes it suitable for use in facilities subjected to aggressive environment.*

The basic methods for testing fresh mix of SCC are reviewed, with recommended intervals within which the test values should fall. A detailed comparative analysis was carried out between compositions of ordinary concrete and SCC with the same water-cement ratio. Researched are the compressive strengths for the different compositions both under normal conditions and under prolonged exposure to an aggressive environment with different concentrations. Relevant conclusions have been drawn which prove the applicability of SCC for various transport facilities.