

## ОБЗОР И АНАЛИЗ НА НЯКОИ СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА СЪСТАВА НА БЕТОНА

Иван Ростовски<sup>1</sup>

### REVIEW AND ANALYSIS OF SOME RECENT METHODS OF CONCRETE MIX DESIGN

Ivan Rostovsky

**Abstract:**

*Concrete is the most widely used building material and it is motivated to give appropriate importance of concrete mix design. Usually the latter is considered as series of operations in order to determine the quantities of the compounds for the production of one cubic meter dense concrete mix, which is expected to produce hardened concrete with defined, pre-specified characteristics.*

*Traditionally, the concrete mix design is performed by an experimental-theoretical method known as the dense volume method. The method is modified, in different countries, taking into account the specifics of local construction practice but its basic idea remains unchanged as a whole. It is regulated in the form of guides, even standards, which are updated periodically. In Bulgaria, the latest addition to the existing methodology was made in 1990. i.e. 30 years ago.*

*The briefed form results, obtained through their application are reviewed and compared with the composition of concrete mixtures, taken from concrete production having proved properties. It is shown that using the methodology, which is still being studied in our country results in concrete mixes with overdose of cement, practically unsuitable for placing with concrete pump.*

*It is clear from the conclusions made, that the dense volumes method, in the Bulgarian form, needs urgent updating in order to meet the contemporary realities in the production of concrete mixtures.*

**Keywords:**

*Concrete mix, Concrete, Mix design*

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Бетонът е най-масово използвания строителен материал и е обосновано да се отдава подобаващо значение на проектирането на неговия състав. Обикновено последното се

---

<sup>1</sup> Иван Ростовски, доц. д-р инж., катедра „Строителни материали и изолации“, Строителен факултет, Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия, София, бул. „Христо Смирненски“ №1, ел. поща: [i\\_rostovsky@abv.bg](mailto:i_rostovsky@abv.bg)

Ivan Rostovsky, assoc. prof. eng., PhD, Department of Construction materials and insulations, Faculty of Civil Engineering, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, 1 Hristo Smirnenski blv., e-mail: [i\\_rostovsky@abv.bg](mailto:i_rostovsky@abv.bg)

свежда до серия от операции, с крайна цел определяне количествата на съставните материали, за получаване на един кубичен метър плътна бетонна смес, от която се очаква да се получи втвърден бетон с определени, предварително специфицирани характеристики.

Традиционно, проектирането на състава на бетона се извършва по експериментално-теоретичен метод, познат като метод на плътните обеми. В различните държави методът е модифициран, съобразно особеностите на местната строителна практика, но като цяло основната му идея е непроменена. Той е регламентиран под форма на ръководства, дори стандарти, които периодично се актуализират. У нас последното допълнение към съществуващата методика бе направено през 1990г. т.е. преди 30 години. В същото време, нормативната база, свързана с бетона и неговите съставни материали, претърпя няколко издания.

## **2. ACI 211.1 R-91 (САЩ)[1]**

В ACI 211.1 R-91 са описани, включително чрез примери, два метода за определяне на състава на обикновен бетон, със и без химични добавки, активни минерални добавки и доменна шлака. Единия метод е базиран на определената плътност на бетона, а втория – на абсолютния обем, зает от съставните материали на бетона. Процедурите за определяне на състава отчитат изискванията по отношение на начина на полагане, консистенция, якост и дълготрайност. Полученият чрез изчисления състав на бетона се проверява чрез изготвяне на пробни замеси в производствени условия.

Първата стъпка, при определянето на състава е избора на консистенция (слягане). Ако слягането не е специфицирано предварително, големината му се избира, като се взема под внимание вида на конструкцията.

Стъпка 2 е изборът на максимален размер на добавъчния материал, като винаги, когато има възможност се работи с по-голям размер на добавъчните материали, тъй като това гарантира по-нисък обем на междузърнестата порьозност, при равни други условия.

Третата стъпка е определянето на количеството на направната вода и съдържанието на въздух. Водата, необходима за получаване на проектното слягане на бетонната смес зависи от номиналния максимален размер, формата на частиците и зърнометричния състав на добавъчните материали, температурата на бетона, обема на въвличения въздух и употребата на химични добавки. Слягането се влияе по-слабо от количеството на цимента и минералните добавки, когато съдържанието им варира в определени граници.

Четвъртата стъпка, при определянето на състава е избор на водоциментно отношение  $w/c$  или отношение вода:цимент + активни минерални добавки –  $w/c+p$ . Тъй като зависимостта между якостта на бетона и водоциментното отношение е строго индивидуална за всяка комбинация от съставни материали, желателно е тя да бъде определена предварително. Когато условията на експлоатация на бетона са сурови, тогава стойностите на водоциментното отношение се избират по-ниски от указани регламентираните такива, дори когато са удовлетворени изискванията по отношение на якостта. Това ограничение се налага с оглед осигуряване на дълготрайност, при дадените условия на експлоатационната среда.

Петата стъпка, след като вече е определено количеството на водата и водоциментното отношение, е изчисляване на масата на цимента. Необходимото количество цимент се получава чрез разделяне на количеството на водата на избраното водоциментно отношение. Полученият резултат се сравнява с минималното количество на цимента, ако има такова в техническата спецификация.

Добавъчни материали с приблизително еднакъв максимален размер и зърнометричен състав ще доведат до получаване на бетон с необходимата обработваемост, когато за производството на единица обем бетон се използва даден обем едър добавъчен материал,

в уплътнено състояние (чрез щиковане, съгласно ASTM C 29). Подходящи стойности за цитирания обем на едрия добавъчен материал са представени в таблична форма Таблица 1).

Таблица 1. Обем на едрия добавъчен материал за единица обем бетон - ACI 211.1 R-91

Номинален максимален диаметър на едрия добавъчен материал, mm	Обем на едрия добавъчен материал в уплътнено (чрез щиковане с пръчка) състояние за единица обем бетон, при различен модул на едрината на пясъка*			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,9	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

От споменатата форма, която е част от ACI 211.1 става ясно, че при една и съща обработваемост, обемът на едрия добавъчен материал за единица обем бетон ще зависи само от номиналния максимален размер (диаметър) и модула на едрината на пясъка. Разликите в количеството на разтворната компонента в бетона, необходима за получаване на дадена обработваемост се компенсират автоматично чрез плътностите на материала в сухо уплътнено (чрез щиковане) състояние. Когато е необходим бетон с по-добра обработваемост, както в повечето случаи е необходим при полагане с бетон-помпа или при конструкции с гъста армировка, количеството на едрия добавъчен материал е желателно да се намали с до 10%.

При това трябва да се следи, дали полученото слягане, водоциментно отношение и якост на бетона са в синхрон с препоръките на горните таблици и изискванията на техническите спецификации.

Последното неизвестно количество в състава на бетона е това на пясъка. За неговото определяне са възможни два подхода – тегловен или като се използва принципа на плътните обеми. Ако е известна плътността на бетонната смес (масата на единица обем), количеството на пясъка се намира като алгебрична разлика между плътността на сместа и известните маси на компонентите (вода, цимент, едър добавъчен материал).

По-точно, количеството на пясъка се определя от уравнението на плътните обеми, за използването, на което трябва да са известни специфичните плътности на съставните материали и приблизителното съдържание на въздух в бетонната смес.

### 3. BR 331 (ОБЕДИНЕНО КРАЛСТВО)[3]

Процесът по определяне на състава на бетонната смес, прилаган най-често в Обединеното Кралство е разделен на пет етапа, всеки от които е свързан с определен аспект на процеса или съставен материал.

Етап 1 се отнася до избор на якост на бетона, откъдето се получава необходимото водоциментно отношение, при което се очаква, че ще се получи бетон с търсената якост.

Етап 2 е свързан с обработваемостта на бетонната смес и определяне на количеството на водата.

При етап 3, въз основа на получените резултати от етап 1 и етап 2 се изчислява количеството на цимента.

При етап 4 се определя общото количество на добавъчните материали. Полученото количество при етап 5 се разделя на две части, съответно пясък и едър добавъчен материал.

Средноаритметичната якост на натиск на бетона, която трябва да се достигне се получава от уравнението:

$$f_{cm} = f_{ck} + ks. \quad (1)$$

където  $k$  приема стойности, зависещи от допустимият дял на несъответстващите резултати (по-ниски от характеристичната якост на натиск на бетона).

$k = 1.28$  за 10 % несъответстващи резултати;

$k = 1.64$  за 5 % несъответстващи резултати;

$k = 1.96$  за 2,5 % несъответстващи резултати;

$k = 2.33$  за 1 % несъответстващи резултати;

При следващата стъпка от определянето на състава се използва стойност от таблица, която дава информация за якостта на натиск на бетон, с водоциментно отношение 0,5, на различна възраст, при използване на цимент клас 42,5 и 52,5, при речен чакъл и трошен камък. Тази стойност на якостта се нанася на фигура, и след няколко графични построения се достига до търсената стойност на водоциментното отношение, съответстваща на средноаритметичната якост на натиск на бетона.

Следващият етап от работата е да се определи количеството на направната вода, като за целта се използва таблица. Количеството на водата се отчита, в зависимост от едрината на добавъчните материал и консистенцията на бетонната смес, която трябва да се получа, изразена като слягане или време за вибриране (по VeBe).

Количеството на цимента се получава от добре познатото уравнение (2):

$$\text{цимент} = \frac{\text{вода}}{\text{водоциментно\_отношение}} \quad (2)$$

Четвъртата стъпка в процеса на работа е определянето на плътността на уплътнената бетонна смес, която се получава графично в зависимост от съдържанието на свободна вода и плътността на комбинацията от добавъчни материали (едър и дребен) във водонаситено, повърхностно сухо състояние.

Ако няма информация за плътността на добавъчните материали, като първо приближение може да се приеме стойност от 2,6 Mg/m<sup>3</sup> за нетрошени и 2,7 Mg/m<sup>3</sup> за трошени. След това, от графика се отчита плътността на бетонната смес и в зависимост от нея се изчислява общото съдържание на добавъчни материали по формулата:

$$\text{Общо съдържание на добавъчни материали} = D - C - W \quad (3)$$

където

$D$  – плътност на бетонната смес, в kg/m<sup>3</sup>;

$C$  – съдържание на цимент в бетона, в kg/m<sup>3</sup>;

$W$  – съдържание на свободна вода в бетона, в kg/m<sup>3</sup>;

Последният етап от изчислителната работа се състои в определянето на относителния дял на дребния и едрия добавъчен материал от общото количество на добавъчните материали. Това става въз основа на специално разработени номограми, за максимална едрина на добавъчните материали – 10 mm, 20 mm и 40 mm. Оптималното отношение между масите на едрия и дребния добавъчен материал зависи от техните характеристики за всеки конкретен случай – форма на частиците, зърнометричен състав, предназначение на бетона. Обикновено чрез използване на номограмите се получава

бетонна смес със задоволителна обработваемост, която допълнително се коригира, след направата на лабораторни замеси.

След като се определи относителния дял на пясъка, количеството на едрия добавъчен материал се получава като от общата маса на добавъчните материали се извади масата на пясъка.

#### 4. РЪКОВОДСТВО КЪМ ГОСТ 27006 – РУСКА ФЕДЕРАЦИЯ [4]

До голяма степен редът при определяне на състава на обикновените и тежките бетони в Руската федерация е сходен с този в България. Процесът на проектиране на състава се състои от следните етапи:

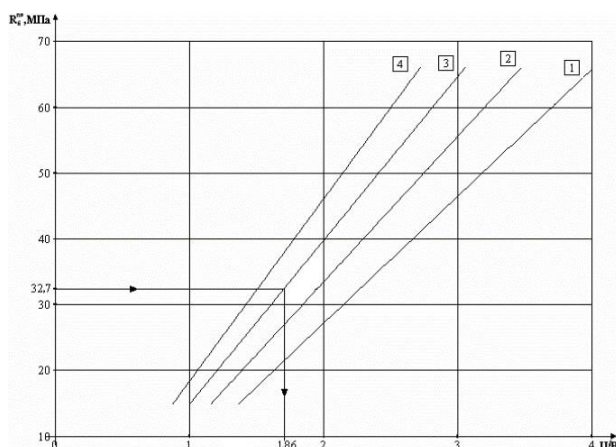
- етап 1 – теоретично изчисляване на състава на бетонната смес;
- етап 2 – експериментална проверка и корекция на свойствата на бетонната смес, съгласно заданието;
- етап 3 – експериментална проверка на началния състав на бетона по отношение на якостта;
- етап 4 – проверка и коригиране на началния състав на бетона, с цел достигане на показателите съгласно заданието;
- етап 5 – определяне и коригиране на работния състав на бетона;
- етап 6 – проверка и коригиране на технологичните свойства на бетонната смес с работен състав, по време на производството.

По формула (4) се определя стойността на циментоводното отношение (Ц/В), от което се очаква, че ще се получи приблизително средноаритметичната якост на бетона за проектна възраст (28 денонощия). При изчисляване на средноаритметичната якост за даден проектен клас на бетона с приема коефициент на вариация  $C_v = 13.5 \%$ . Когато е налице опитно установена (емпирична) зависимост между якостта на бетона и циментоводното отношение за даден вид цимент, за проектиране на състава се използва опитната зависимост.

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_6^{28} - 0.06R_{ц}^{28} + 13}{0.24R_{ц}^{28} + 13} \quad (4)$$

$R_6^{28}$  – средноаритметична якост на натиск на бетона в МПа на възраст 28 денонощия;

$R_{ц}^{28}$  - средноаритметична якост на натиск на използвания цимент в МПа на възраст 28 денонощия;



Фигура 1 Зависимост между якостта на натиск на бетона след 28 денонощия втвърдяване при нормални условия, 1 – цимент клас 22,5; 2 – клас 32,5; 3 – клас 42,5; 4 – клас 52,5

Когато не е известна якостта на натиск на цимента, за определяне на циментоводното отношение се използва графика (фиг.1).

Ориентировъчният разход на вода за определяне на началния състав на бетона се отчита от таблица.

Стойностите от таблицата са получени при използване на трошен камък фракция 5/20 mm. При употреба на трошен камък фракция 5/10 mm разходът на вода се увеличава с 10 – 15 l за 1 m<sup>3</sup> бетон; при употреба на трошен камък фракция 5/40 mm разходът на вода се намалява с 10/15 l за 1 m<sup>3</sup> бетон.

Водопотребността на бетонната смес с водонамаляващи/пластифициращи добавки е определена при използване на пясък с модул на едрина 2.0 (среден пясък съгласно ГОСТ 8736).

Примерният обем на ввълечения въздух, без въздуховвличащи добавки в зависимост от максималната едрина на добавъчните материали се приема в диапазона от 1% (за фракция 5/40 mm) до 3% (за фракция 5/10 mm).

Производството на бетонни смеси със слягане над 10 cm (П3, П4 и П5 по ГОСТ 7473-2010) без водонамаляващи/пластифициращи добавки не се препоръчва.

Разходът на цимент  $C$  в kg за 1 m<sup>3</sup> бетон се изчислява по формулата:

$$C = \frac{C}{B} \cdot B \quad (5)$$

където

$C/B$  е определеното циментоводно отношение по формула (4), а  $B$  е количеството на водата в l.

Абсолютният(плътният) обем на добавъчните материали  $V_z$  се определя по формула (6):

$$V_z = 1000 - \frac{C}{\rho_{с,ц}} - \frac{B}{\rho_{в}} - A \quad (6)$$

$\rho_{с,ц}$  е специфичната плътност на цимента, kg/dm<sup>3</sup>;

$\rho_{в}$  е плътност на водата, която се приема за равна на 1 kg/dm<sup>3</sup>;

$A$  е обемът на ввълечения въздух в dm<sup>3</sup>;

Количеството на дребния добавъчен материал (пясъка)  $P$  в kg за 1 m<sup>3</sup> бетон се изчислява по формулата:

$$P = V_z \cdot r \cdot \rho_{с,п} \quad (7)$$

$\rho_{с,п}$  е специфичната плътност на пясъка, kg/dm<sup>3</sup>;

$r$  е относителния дял на пясъка в общото количество на добавъчните материали.

Количеството на едрия добавъчен материал  $E_m$  в kg за 1 m<sup>3</sup> бетон се изчислява по формула (8):

$$E_m = V_z (1 - r) \cdot \rho_{с,е} \quad (8)$$

## 5. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЪСТАВА НА БЕТОНА В ГЕРМАНИЯ [5]

Последователността на работата при определяне на количествата на съставните материали, която се използва в германската практика за определяне на състава на бетона е сходна с разглежданите до момента.

Процесът може да стартира с определяне на количеството на направната вода или водоциментното отношение. Двете характеристики се отчитат от таблици и/или графики, независимо една от друга, така че редът им на определяне не е от значение.

Съгласно DIN 1045-2[6], според зърнометричния състав на добавъчните материали (дребни и едри), зададен чрез комбинирана зърнометрична крива, бетонните смеси могат да имат по-едрозърнест или по-фин вариант на зърнометричния състав – криви А, В и С.

Нормално, вариант А на зърнометричния състав т.е. по-едрозърнест, се избира, когато бетонната смес ще се полага директно от превозното средство, без бетон помпа. За обикновени бетон, предназначени за бетонпомпи се избира комбинирана зърнометрична криви близки до В, а за високопластични смеси, например за пилоти – криви близки до С.

Количеството на водата, се отчита от таблица и включва водата абсорбирана от добавъчните материали, добавената вода и водното съдържание на химичните добавки (ако има такива). Алтернативен начин за изчисляване на количеството на направната вода е по емпирични формули.

Когато комбинираната зърнометрична крива на добавъчните материали заема междинно положение се прави линейна интерполация за отчитане на количеството на водата.

Средноаритметичната якост на натиск на бетона се получава от уравнението (9):

$$f_{cm,cube} = f_{ck,cube} + v \quad (9)$$

Водоциментното отношение, от което се очаква, че ще се получи бетон с търсената средноаритметична якост се отчита от графика, в зависимост от якостта на натиск (класа) на използвания цимент. Отчетената стойност трябва да е по-ниска от максимално допустимата за класа по въздействие на бетона.

Третата стъпка на процеса е изчисляване на количеството на цимента, въз основа на вече определените вода и водоциментно отношение.

Обемът на добавъчните материали  $V_g$  се намира чрез уравнението на плътните обеми:

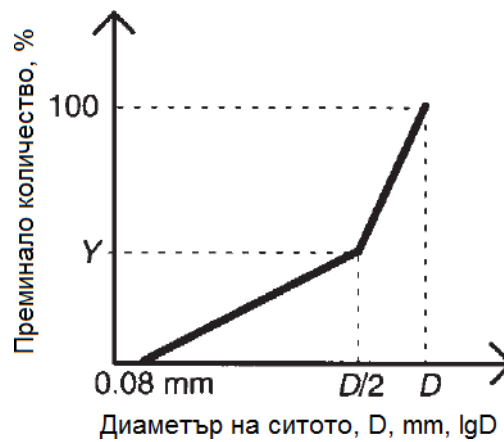
$$V = 1000 - \frac{z}{\rho_z} - \frac{w}{\rho_w} - p \quad (10)$$

Където  $z$  и  $w$  са масите на цимента и водата в  $kg$ , а  $\rho_z$  и  $\rho_w$  са съответно специфичната плътност на цимента и водата в  $kg/dm^3$ .  $p$  е обемът на въздуха в бетона в  $dm^3$ .

Относителния дял на различните фракции добавъчни материали може да се отчете директно от стандартизираните зърнометрични криви за бетони А32, В32, С32, А16, В16, С16, А8, В8 и/или С8, които са част от DIN 1045-2, в зависимост от максималния размер на едрия добавъчен материал, срещу абсцисата, съответстваща на сито със светъл квадратен отвор 4 mm - колкото е максималния размер на пясъка.

## **6. МЕТОД DREUX-GORISSE – ФРАНЦИЯ[7]**

Методът е разработен през 1970г. и е подчертано емпиричен, за разлика от предшестващите го методи (Bolomey, Feret, Faury), които са теоретични, основани на оптимизиране на зърнометричния състав на добавъчните материали, с оглед осигуряване на максимална плътност. Авторът на метода е направил мащабно проучване и е събрал данни за състава на бетони, които са показали „задоволително поведение“. Чрез изчертаване на зърнометричните криви на добавъчните материали той е получил референтна „крива“, която се състои от два прави участъка в логаритмичен мащаб (фиг.2). Първата стъпка на метода е събиране на базова информация за конструкцията – височина на бетонирания елемент, минимални размери на напречното сечение, гъстота на армировката в най-гъсто армираните зони, дебелина на бетоновото покритие.



Фигура 2 Референтна зърнометрична крива, според Dreux[8]

Втората стъпка се състои в определяне на проектната средна якост на бетона, въз основа на проектния клас, който се отчита от конструктивния проект и очакваното разсейване на резултатите. При липса на данни, най-често се приема (11):

$$f_{cm} = f_{ck} \cdot 1.15 \quad (11)$$

Третата стъпка при определянето на състава е избор на консистенция на бетонната смес, която най-често се задава чрез слягането, измерено по метода на Абрамс.

Поредната стъпка при метода Dreux е избор на максимален размер на зърната на едрия добавъчен материал. В общия случай, максималният размер е функция от данните за конструкцията (първа стъпка) и начина на подаване на бетонната смес в рамките на обекта.

Петата стъпка от определянето на състава се състои в изчисляване на необходимото количество цимент, от което се очаква, че ще се получи бетон с търсената якост. Първо се определя отношението цимент/вода въз основа на проектната якост на бетона, като се използва формулата на Боломей (Bolomey), която в случая има вида (12):

$$f_{cm} = G \cdot f_{cm} \cdot \frac{C}{W}^{-0.5} \quad (12)$$

където

$f_{cm}$  е средноаритметичната якост на натиск на бетона,  $N/mm^2$ ;

$f_{cem}$  е якостта на натиск на цимента,  $N/mm^2$ ;

$C$  е масата на цимента в състава на бетона,  $kg$ ;

$W$  е масата на водата в състава на бетона,  $kg$ ;

$G$  коефициент, който зависи от качеството и едрината на добавъчните материали (табл. 2).

Таблица 2. Стойности на коефициента  $G$

Качество на добавъчните материали	Максимален размер на едрия добавъчен материал, $D$		
	Ситен $D \leq 16$ mm	Среден $20 \leq D \leq 40$ mm	Едър $D \geq 50$ mm
Много добро	0,55	0,60	0,65
Добро, обикновено	0,45	0,50	0,55
Приемливо, сравнително добро	0,35	0,40	0,45



След като се определи отношението цимент/вода и се знае проектната консистенция на бетонната смес, от номограма се отчита количеството на цимента за 1m<sup>3</sup> бетонна смес.

Когато вече са известни съдържанието на цимент в бетона и отношението цимент/вода, се изчислява количеството на водата в бетона.

Ако максималният размер на едрия добавъчен материал е различен от 20 mm, изчисленото количество на водата в бетона се коригира.

За производството на бетон се препоръчват добавъчни материали от здрави скални породи, твърди и чисти. Изискването за чистота важи в още по-голяма степен и за пясъка, като неговата едрина оценена с модула на финост трябва да бъде в диапазона от 2.2 до 2.8. Пясъци с прекалено висок модул на финост (над 3) са много едри и преди използването им за бетон в необходимо да се смесят с фин пясък.

Референтната зърнометрична крива на добавъчните материали е определена напълно, ако е известна ординатата  $Y$ . Абсцисата на точката с ордината  $Y$  е  $D/2$  т.е. по средата на частта от комбинираната зърнометрична крива, съответстваща на едрия добавъчен материал.  $Y$  се изчислява от уравнението (13):

$$Y = 50 - \bar{D} + K \quad (13)$$

$K$  е корекционен коефициент, който зависи от голям брой фактори – количество на цимента, вид на добавъчния материал (заоблен или ъгловат), ефективността на уплътняване на бетонната смес и едрината на пясъка.

След построяването на референтната крива може да се получи относителния дял на пясъка и едрия добавъчен материал от общото количество на добавъчните материали.

Предпоследната стъпка от проектирането на състава в определянето на плътния обем на сухите компоненти на бетонната смес. Стойностите са табулирани в зависимост от консистенцията на бетонната смес и максималния размер на едрия добавъчен материал.

Последният етап от проектирането на състава е изчисляването на индивидуалното количество на всеки от добавъчните материали.

От получения по изчисление състав се изготвя лабораторен замес за проверка на свойствата на сместа и втвърдения бетон.

## 7. ИЗВОДИ

Основните изводи, които могат да се направят въз основа на изложената по-горе информация могат да се обобщят какво следва:

- прилаганите в строителната практика методи са предимно емпирични, като в отделни техни части могат да се включва и теоретичен елемент, например оптимален зърнометричен състав на добавъчните материали;
- към момента не съществува универсален метод за проектиране на състава на бетона, който да обхваща всички фактори, които оказват влияние върху свойствата му в пластично и/или втвърдено състояние;
- методите за проектиране периодично се проверяват и при необходимост се оптимизират, нещо което у нас не е правено повече от 30 години;
- отчита се възможността за полагане на бетонната смес с бетонпомпи, която се отразява на състава на бетонната смес;
- в процеса на работа, в явен или неявен вид участват повече параметри, които влияят върху свойствата на бетона, в сравнение с прилагания у нас метод;
- при определянето на състава се дава значителен приоритет на осигуряване на дълготрайността на конструкциите;

## 8. СРАВНЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗЧИСЛИТЕЛНИЯ ЕТАП

За изпълнението на стоманобетонна стена е необходимо да се проектира състава на бетонна смес, която ще се полага с бетон помпа. Дебелината на стената е 250 mm. От армировъчния план на стената е установено, че светлото разстояние между армировъчните пръти е 140 mm. Част от стената се намира над нивото на терена, върху който е ситуирано съоръжението, а друга част е вкопана. Класът по въздействие на околната среда на бетона е:

- XC2 – корозия, предизвикана от карбонизация, мокра, рядко суха среда (Бетонни повърхности с продължителен контакт с вода; В много случаи при фундаменти – виж БДС EN 206+A1);
- XF1 - въздействие от замразяване/размразяване с или без размразяващи вещества, умерено водонасищане без размразяващо вещество (Вертикални бетонни повърхности, изложени на дъжд и замръзване);

XA2 – химично въздействие (Бетон, изложен на химично въздействие от естествени почви и почвена вода).

Данни за съставните материали:

- цимент – сулфатоустойчив цимент СЕМ I 42.5R SR-5. Якост на натиск на цимента  $f_{cem} = 51,7 \text{ N/mm}^2$ , специфична плътност –  $\rho_{c,c} = 3080 \text{ kg/m}^3$ ;
- естествен речен пясък 0/4 mm. Обемна плътност на пясъка в свободно насипано състояние  $\rho_{o,p} = 1520 \text{ kg/m}^3$ , специфична плътност на пясъка  $\rho_{c,p} = 2640 \text{ kg/m}^3$ , абсорбция на вода на пясъка  $WA_{24,p} = 0.6\%$ . Пясъкът е едър.
- естествен трошен камък. Доломитизиран варовик, обемна плътност на едрия добавъчен материал в свободно насипано състояние  $\rho_{o,e} = 1470 \text{ kg/m}^3$ , в уплътнено състояние -  $1740 \text{ kg/m}^3$ , специфична плътност -  $\rho_{c,e} = 2840 \text{ kg/m}^3$ , абсорбция на вода на -  $WA_{24,e} = 0.16\%$

За проектен експлоатационен срок на конструкцията 50 години, класът на конструкцията е S4.

Бетонната смес ще се полага в кофража с бетонпомпа. Диаметърът на тръбите от бетонопровода на помпата е 120 mm.

Резултатите за състава на бетона с клас по якост на натиск C30/37 са представени в табл.2

## 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От данните в таблицата се вижда, че изчислените състави биха могли да се разделят на две групи:

- първа група – състави, получени по изчисление въз основа на методите използвани във Великобритания (BR 331), Германия и Франция (Dreux – Gorisse), при които количеството на цимента в бетона е между 390 и 400 kg, пясъка е в рамките на 800 – 900 kg, а едрия добавъчен материал – между 900 и 1000 kg. Водоциментното отношение в бетона, което се получава по изчисление, съгласно цитираните методи е около 0,5 (от 0,49 до 0,51);
- втора група – състави, получени по метода на плътните обеми, с неговите модификации, прилагани в България, САЩ (ACI 211.1 R-91) и Русия (ГОСТ 27006). В този случай, количеството на цимента е с около 100 kg на кубичен метър повече т.е. между 480 и 510 kg, пясъка е по-малко – от 665 до 726 kg за кубичен метър, а едрия добавъчен материал – от 1000 до 1040 kg за кубичен метър. Водоциментното отношение е значително по-ниско, в сравнение с първата група – от 0,36 до 0,44. Категорично може да се каже, че водоциментно отношения в този диапазон може да се постигне единствено чрез употреба на силноводо намаляващи химични добавки,

при това от висок клас – на поликарбоксилатна основа. При това положение, количеството на направната вода ще се понижи до 185 – 190 l за кубичен метър бетон.

Таблица 3. Изчислителни състави на бетон клас C30/37, получени по различни методи

Съставен материал на бетона	Количество, kg					
	Метод на плътните обеми (Бг)	ACI 211.1 R-91	ГОСТ 27006	BR 331	Германия	Dreux-Gorisse
Цимент	481	486	502	398	390	400*
Вода	207	209	220	203	195	195
Пясък	680	726	670	860	910	785
Едър добавъчен материал	1040	995	995	970	910	1035
Водоциментно отношение	0,43	0,43	0,44	0,51	0,50	0,49

При сравнение на изчислените количества на съставните материали от таблицата с производствени състави от строителната практика, които покриват изискванията по отношение на якостта на натиск се установява категорично, че бетоните от първата група се намират много по-близо до реалното производство. В най-добрия случай, бетоните от втората група, след намаляване на цимента с около 100 kg за кубичен метър ще са годни за полагане с метод, различен от бетон помпа, тъй като комбинираният зърнометричен състав на добавъчните материали няма да е благоприятен.

Казаното по-горе дава достатъчно основание да се твърди, че методът на плътните обеми, във вида му, който се използва към настоящия момент в България се нуждае от основна преработка, за да отговори на изискванията на производствената практика.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] ACI 211.1-R - 91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009);
- [2] ASTM C29/C29M-17 Standard Test Method For Bulk Density (“Unit Weight”) And Voids In Aggregate;
- [3] Teychenné, D. C. Franklin, R. E. and Erntroy, H. C., REP 331 Design of normal concrete mixes. 2nd edition, ISBN 978-1-86081-172-2, IHS BRE Press, 1997;
- [4] Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006-86);
- [5] Zusammensetzung von Normalbeton – Mischungsberechnung, Zement-Merkblatt Betontechnik B 20 2.2017, Herausgeber, InformationsZentrum Beton GmbH, Steinhof 39, 40699 Erkrath;
- [6] DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1;
- [7] Dreux, G. et Festa, J. (1998). Nouveau guide du béton et de ses constituants. Eyrolles, Paris, France. ISBN-13 : 978-2212102314;
- [8] De Larrard, F., Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach (Modern Concrete Technology), Taylor & Francis e-Library, ISBN 0-203-97650-9, 2011.