

## **ИНОВАТИВНИ ХИБРИДНО ДИСПЕРСНО-АРМИРАНИ ЦИМЕНТ-СЪДЪРЖАЩИ КОМПОЗИТИ ЗА СПЕЦИАЛНИ ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **Част I: Принципи на дисперсното армиране и възможности за оптимизиране**

**Валерий Найденов<sup>1</sup>, Иван Ростовски<sup>2</sup>, Мирона Миронова<sup>3</sup>**

## **INNOVATIVE HYBRID FIBER-REINFORCED CEMENT-CONTAINING COMPOSITES FOR SPECIAL APPLICATIONS**

### **Part 1: Principles of fiber-reinforcement and possibilities for optimization**

**Valeriy Naidenov<sup>1</sup>, Ivan Rostovski<sup>2</sup>, Mirona Mironova<sup>3</sup>**

#### **Abstract:**

*In order to increase the efficiency and durability of fiber-reinforced cement-containing composites, the idea of rational use of the principles of optimal upgrading and reasonable sufficiency outlines new opportunities for combined use of special modifying additives (highly water-reducing, internal-crystalizing, shrinkage compensators, and etc.) in these composite systems. All this, plus the possible hybridization of the reinforcing fibers, creates new opportunities for obtaining innovative composite systems for a number of special applications - mainly jointless industrial concrete pavements and thin repair overlayers for the repair of defective steel-reinforced constructions.*

*The report discusses the main physical-mechanical and structural characteristics of such innovative systems obtained by applying standard and most modern direct physical and physical-chemical research methods - X-ray structural and differential thermal analysis, scanning electron microscopy, porosimetry, low-temperature gas absorption and computed tomography.*

*A number of their advantages have been proven, determining their effective applications.*

#### **Keywords:**

*Fibre-reinforcement, high range water reducing admixtures, internal crystalizing admixtures, shrinkage compensating admixtures, shotcreting, concrete overlays*

<sup>1</sup> Валерий Найденов, доц. д-р инж., Институт по механика - БАН, София, valna53@mail.bg; Valeriy Naidenov, Assoc. Prof. PhD, Eng., Institute of Mechanics - BAS, Sofia, valna53@mail.bg

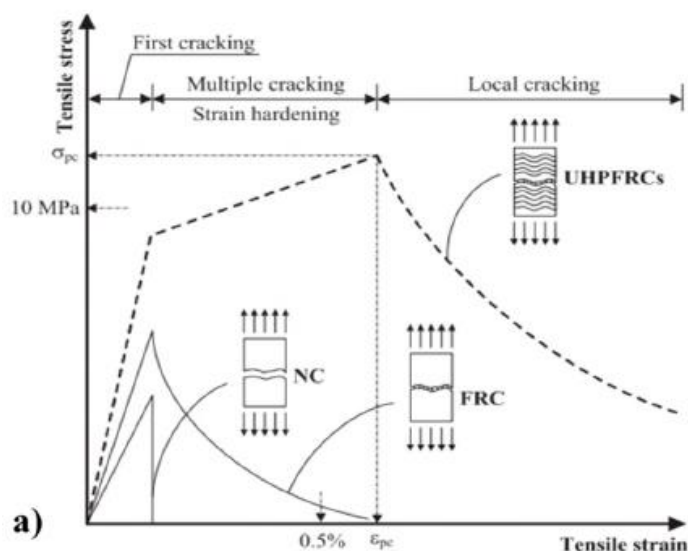
<sup>2</sup> Иван Ростовски, доц. д-р инж., УАСГ, София, i\_rostovski@abv.bg; Ivan Rostovski, Assoc. Prof. PhD, Eng., UASG, Sofia, i\_rostovski@abv.bg

<sup>3</sup> Мирона Миронова, доц. д-р инж., Институт по механика - БАН, София, mirona@abv.bg; Mirona Mironova, Assoc. Prof. PhD, Eng., Institute of Mechanics - BAS, Sofia, mirona@abv.bg

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съгласно широко известната класификация, дадена в ACI 544.1R-96 Report on Fiber Reinforced Concrete (Reapproved 2002), в съвременното строителство като дисперсна (vlakнеста) армировка се използват естествени (натурални), синтетични (акрилни, арамидни, въглеродни, полиестерни, полиетиленови, полипропиленови, полимерно-композитни, и пр.), стъклени, стоманени и хибриден тип (оптимизирана комбинация от горепосочените) влакна с различен процент на армиране.

В общия случай пространственото дисперсно армиране със стоманени и/или полимерни макро-влакна с конструкционно предназначение превръща втвърдения бетон в една по-деформируема композитна система с еднакви характеристики на цялото сечение, способна да поема по-големи опънни напрежения, включително при знакопроменливо и динамично натоварване и след развитие на процеси на пукнатинообразуване. По този начин рязко се повишава съпротивлението срещу крехко разрушение, увеличава се остатъчната якост след поява на първа пукнатина, якостта на умора при дълготрайно натоварване, ударната якост, и пр. – Фигура 1. Ясно различим е приносът на дисперсното армиране за подобряване характеристиките на композита при натоварване на опън и огъване.



Фигура 1. Принос на влакна в бетона - сравнения между различни видове бетони по отношение на потенциала им за поемане на опънни напрежения (tensile stresses) и деформации (tensile strains)

NC (обикновен бетон), FRC (дисперсно-армиран бетон),  
UHPFRC (високотехнологичен дисперсно-армиран бетон) [1]

В контекста на постоянно нарастващата необходимост от търсене на повишена дълготрайност на бетонните конструкции използване на принципите на дисперсното армиране се оказват от съществено значение, следващо най-съвременните тенденции, включително тези за намаляване на въглеродните емисии. Всичко това се отнася както при строителството на нови, така също и при ремонт, възстановяване и усилване на съществуващи строителни конструкции, претърпели в една или друга степен и корозионни поражения в процес на експлоатация.

## 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ВЛАКНАТА И МАТРИЦАТА

Това е фундаментален проблем с директно отношение и доминиращо влияние върху показателите на дисперсно-армираните циментови композити. Разкриването на механизма

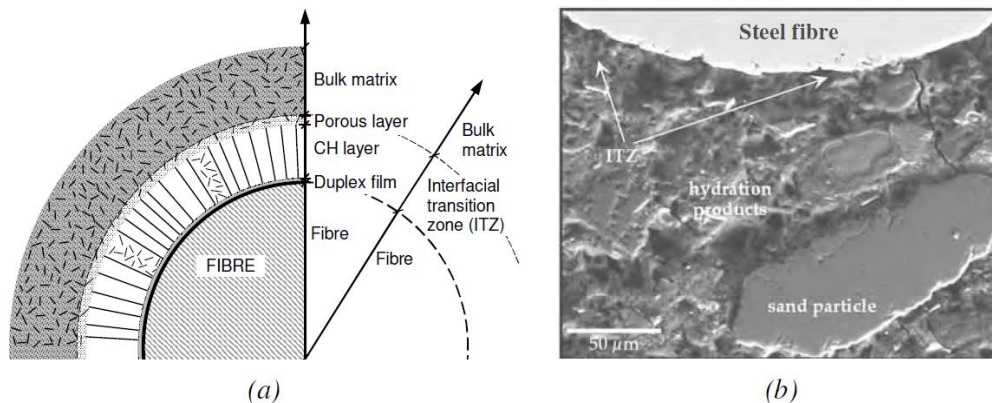
на тези взаимодействия е изключително важна изследователска задача, решението на която е пряко свързано с дефиниране на реалния принос на влакната за подобряване на физико-механичните характеристики на композита и прогнозиране на неговите свойства в различни експлоатационни условия.

Като цяло налице са редица фактори с пряко влияние върху сложните взаимодействия между влакна и матрица - състав и състояние на матрицата (хомогенна преди поява на първа пукнатина, или след началото на процеса на пукнатинообразуване), тип, геометрия и повърхност на влакното, якостно-деформационните характеристики на влакното и матрицата, процент на армиране (обемно съдържание на влакната в матрицата), ориентацията на влакната в координатната система на натоварването, вид и степен на натоварване, устойчивост и дълготрайност на влакната в състава на матрицата, и пр.

Сложното и често пъти противоречиво взаимодействие между изброените фактори, не позволява да се изведе обобщаващ теоретичен модел за съвместната работа на влакно и матрица, поради което се налага включването на редица ограничителни условия, най-вече избор на концепция за природата на тези взаимодействия.

Понастоящем е възприето схващането, че дисперсното армиране на цимент-съдържащи композити осигурява носимоспособност и след поява на първа пукнатина, т.е. позволява акумулиране на допълнителни порции енергия и преразпределение на напрежения след различните фази на пукнатинообразуване [2,3,4].

Наличието на влакна от различен тип в процеса на хидратация на циментовата матрица не променя хода на протичащите физико-химични взаимодействия, но в някаква степен участва в изграждането на микроструктурата на композита, което, от своя страна, обуславя взаимовръзките между единичното влакно и матрицата. Последното е с лимитиращо значение за закотвящата сила и силата на изтръгване на влакното от матрицата.



Фигура 2. Контактна зона около единично влакно:  
а) Схематично представяне; б) Микро-фотография [5]

Контактната повърхност между влакно и матрица (с ориентировъчна дебелина от около 20-50  $\mu\text{m}$ ) е схематично показана на Фигура 2., където се разграничават характерни зони, разглеждани от повърхността на влакното – междинна зона (състояща се от сдвоен контактен филм, хидросиликатен слой и поръозен слой) и не нарушен обем на матрицата [5].

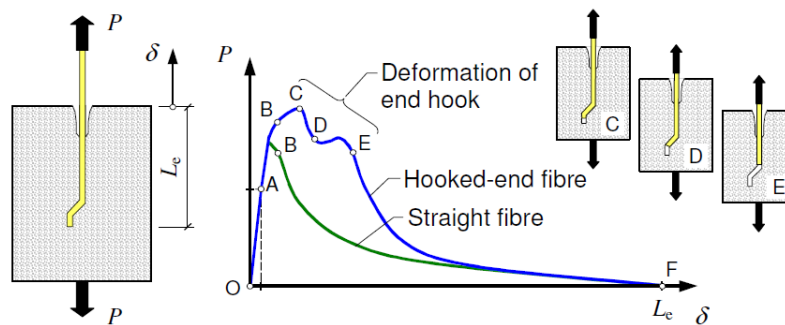
Анализирайки техническите характеристики на дисперсно-армираните циментови композити не може да се пренебрегва фактът, че те се генерират първоначално на

микроструктурно ниво [6]. Те се обуславят най-вече от микромеханиката на контактната зона и микроструктурата на композита.

Контактната зона се формира основно под влиянието на наличие на пристенни ефекти, условията на протичане на химичните процеси в зоната около влакното и наличие на водоотделяне при хидратацията на циментовите зърна около повърхността на влакното, предвид относително по-голямата му размерност, в сравнение с циментовите зърна.

Разрушението представлява сложен процес, зависещ от множество параметри. Понастоящем принципно е възприето, че, в присъствие на дисперсна армировка, то протича в следните фази [59]: микро-разрушение в матрицата, разрушение в контактната зона между влакно и матрица, преодоляване на остатъчно триене между влакно и матрица, пластично деформиране в единичното влакно и изтръгване или разрушение във влакното.

Анализът на отделните сектори от кривата „напрежение-деформация“ дава възможност да се проследи и систематизира поведението на композита с вградено единично влакно с огънати краища (**hooked end type**) при нарастване на деформацията – Фигура 3.



Фигура 3. Механизъм на изтръгване на единично влакно с огънати краища (hooked-end type) [5]

- OA** - еластично поведение и пълна адхезионна връзка между влакно и матрица;
- AB** - начало и край на разрушение на адхезионната връзка между влакно и матрица;
- BF** - начало и пълно изтръгване на право влакно;
- BC** - начало на анкериращото действие на огънатия край на единично влакно с огънати краища;
- CD** - принос на анкериращото действие на огънатия край на влакното;
- DE** - начало на изтръгване на вече изправения огънат край на влакното;
- EF** - процес на изтръгване на изправеното влакно.

В обобщение, в днешно време дисперсно-армираните цимент-съдържащи композити се оценяват като такива с нарастваща значимост, особено в за някои специфични области на приложение – преимуществено за индустриални бетонни настилки (плоча на земна основа - slab on ground), в тунелни и хидротехнически съоръжения, за тънки репарационни и заздравяващи слоеве (**overlays**), изпълнявани по различни технологии, както и за производство на някои високотехнологични декоративни продукти.

Всяко едно от изброените по-горе специфични приложения на дисперсно-армирани цимент-съдържащи композити изисква специални конструктивни и рецептурно-технологични решения, повечето от които продиктувани от множеството, често противоречиви изисквания за всеки конкретен случай. Тук следва да се отбележи и липсата на общоприета нормативна база у нас и по света за проектиране на такива елементи, конструкции и съоръжения.

### 3. ОСНОВНИ ОБЛАСТИ НА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДИСПЕРСНО-АРМИРАНИ КОМПОЗИТИ

#### 3.1. Хоризонтални тънки бетонни слоеве върху монолитен бетон или асфалт

Постоянно нарастващият обем на използване на бетона в най-разнообразни конструктивни приложения поставя основателно въпросът за ресурса на годност на такива композити, особено в условия на експлоатация с активно действащи специфични корозионни фактори или породени от въздействието на околната среда. Проблемът с корозионната устойчивост на бетона е въпрос пряко свързан с дълготрайността на изгражданите конструкции и съоръжения. Възможните поражения в условия на експлоатация, изискват постоянен мониторинг за състоянието на конструкциите, анализ на скоростта на изчерпване на ресурса им и адекватни мерки за възстановяване на проектната им носимоспособност чрез прилагане на различни технологии за извършване на репарационни работи.

С особена сила това важи за предимно хоризонтално разположени с висок коефициент на открита повърхност бетонни и стоманобетонни конструкции и съоръжения, експлоатирани на открито, преди всичко инфраструктурни – бетонни пътища, индустриални настилки, паркинг-площи, самолетни писти и пътеки за рулиране, мостови съоръжения, тунелни облицовки, пешеходни алеи и пр. В такива случаи най-често развитието на корозионните поражения започват от повърхността, като постепенно мигрират в дълбочината на сечението.

Оптимален вариант за съхраняване и възстановяване на ресурса в такива случаи е изпълнение на ремонтни работи, основани на възможността за използване на относително тънки репарационни слоеве на основата на специални висококачествени цимент-съдържащи конвенционално или дисперсно-армирани композити от т.н. **плаващ** (отделен от бетонната основа) или **адхезионно свързан** с основата тип с относително малка дебелина от порядъка на 8-10 cm. В специализираната литература такива репарационни слоеве са познати под името **overlays** [7,8,9,10,11].

Адхезионните репарационни слоеве позволяват уякчаване и удължаване на експлоатационния живот на конструкциите при много ниска дебелина на ново изграждания слой, което не внася значително допълнително натоварване от собствено тегло. За сметка на това те изискват относително добро общо състояние на повърхността за репариране, без наличие на драматични дефекти, масови магистрални пукнатини и обрушвания, което да е основа за качествено изпълнение на адхезионния слой. Обратното би изисквало предварителни репарационни работи, а това води до оскъпяване на ремонта. Срокът на експлоатация в подобни случаи се удължава с 15-25 години.

Основното им приложение е свързано не толкова с репарации на относително слабо дефектирани бетонни повърхности, колкото в случаи на необходимост от дозирано увеличаване носимоспособността на съществуващи конструкции, предвид увеличен бъдещо натоварване.

Преди да се пристъпи към оразмеряването на адхезионния слой предварително следва да са изяснени две принципни условия – актуално състояние на съществуващата конструкция и очаквания бъдещ (увеличен или не) проектен трафик.

След приключване анализа за избор на типа репарационен слой от изключително значение е качествената подготовка на основата, което се извършва по предварително разработен регламент, осигуряващ перфектност в изпълнението на адхезионния свързващ слой. Понастоящем най-често използваните технологични варианти са пясъкоструене, въздушно и хидро-бластиране, фрезозане и повърхностна химична киселинна обработка с последващо неутрализиране. Предвид липсата на български стандартни изисквания

удачно би било тези технологични операции да са съобразени с изискванията на АСІ 546R-04 [12].

**Предварително условие в такива случаи е осигуряване на съвместната работа на съществуващото сечение с допълнително положеното връхно покритие, което обуславя особени изисквания както качеството на адхезионната връзка между двете среди, така също и към осигуряване на относителна сходимост на слоевете по отношение на съсъхването на бетона, в частност максимално минимизиране (включително и до степен на известно самонапрягане) на последното.**

По отношение проектиране състава на бетона за изпълнение на репарационния слой особено важно е съблюдаването на няколко принципа:

- Проектиране състав на бетона с минимизирано (компенсирано) съсъхване и бързо набиране на якост, чрез който се осигурява и съхранява максимално добра адхезионна връзка в условия на активни фактори на околната среда (термо-влажностни процеси) и знакопроменливи термични деформации;
- Минимизиране на водоциментовото отношение с използване на подходящо подобрани химични добавки;
- Дозиран обем на циментовата паста в бетона, респ. оптимизирано циментово съдържание – основен фактор за управляемо съсъхване;
- Използване на добавъчни материали със сходна водопопиваемост и близък коефициент на температурно разширение с този на същите в рецептурата на репарирания основен слой – фактор за относителното изравняване на термо-влажностните деформации на двата слоя;
- Оптимално процентно съдържание на дисперсна армировка от целесъобразен тип, повлияно от типа на бетона – с или без участие на едри добавъчни материали с определен максимален размер, с или без участие на цимент-заместващи материали, начин на полагане и обработка.

Финишната обработка се отличава от конвенционалните повърхностни обработки на обикновените бетони. Специфични допълнителни изисквания са:

- прецизна спазване на проектната дебелина на репарационния слой;
- забрана за трафик по време на полагането и началните срокове на свързване и втвърдяване на бетона;
- текстуриране на финишната повърхност за осигуряване на проектна равнинност и гладкост, респ. проектен коефициент на триене, съобразена с условията на експлоатация;
- адекватни грижи за бетона след полагане и обработка на повърхността.

Предвид относително малката дебелина на репарационния слой, от съществено значение е и задълбоченото познаване поведението във времето под натоварване на армираните с различни типове влакна бетони. Характерното за обикновените бетони т.н. отложено във времето натрупване на повреждания има специфични особености за дисперсно-армираните бетони [13]. Известен е моделът на **Pumell-Beddows** [14], който отчита концентрацията на напрежения, освен под натоварването, и породени от нарастващия обем на хидратационни продукти в циментовата паста в условия на действие на корозионни фактори, което резултира върху якостта на умора на дисперсно-армирания бетон. Според този модел, загубата на якост  $s$  за време  $t$  се описва с израза

$$s = \frac{1}{\sqrt{1 - kt}}$$

$$k = k_0 \cdot \exp\left(\frac{dG}{dT}\right)$$

където:

$s$  - очакваната загуба на якост;

$k$  - въздействие на външните корозионни фактори върху загубата на якост във времето;

$k_0$  - честота на въздействие на корозионните фактори;

$DG$  - енергията на активация на реакцията, свързана с корозионно действие;

$R$  - универсална газова константа;

$T$  - температура, градус Келвин

Подобни зависимости, колкото и комплицирани да са на пръв поглед, задължително следва да бъдат разработвани и отчитани за съответния тип и количество дисперсна армировка, предвид прогнозиране дълготрайността на изпълняваните адхезионни покрития.

**Плаващите репарационни слоеве** могат да се използват в случаи на относително лошо състояние на защитаваната повърхност, без необходимост от извършване на значителни предварителни репарационни мероприятия, а наличието на отделител между стария и новия бетон позволява да не се следи за точното препокриване на съществуващите фуги в основния бетон с тези на репарационния слой. Значителната дебелина, обаче, освен че означава допълнително натоварване върху основната конструкция, увеличени разходи за изпълнението им, води и до възникване на проблеми с нивата на репарирани повърхности. Всичко това, обаче, предполага осигуряване на относително по-дълъг проектен експлоатационен цикъл от порядъка на 20-30 години.

### 3.2. Индустириални бетонни настилки

За съществуващата относителна не еднозначност в определението и в методите на конструиране и оразмеряване на подобен тип конструкции допринася и фактът, че те не са дефинирани отделно както в действащия по настоящем у нас **Правилник за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции**, така също и в **Еврокод 2**.

В този смисъл, и в аспекта на настоящото изложение, е и предложено по-долу **определение за ИНДУСТРИАЛНА БЕТОННА НАСТИЛКА**: **изливен тип на местостроежа армирана или неармирана бетонна конструкция с геометрични размери в план многократно надвишаващи размера във височина, проектирана като плоча на еластична основа и изпълнена чрез машинно шлайфане на повърхността, за дълготрайно поемане на специфични експлоатационни натоварвания с осигурена устойчивост на факторите на околната и производствена среда [15].**

Съществуват постоянно усъвършенствани теории за изчисление на бетонни настилки (разглеждани като плоча на земна или друга основа), които са приложими и при използване на дисперсно-армиран бетон.

За пионерна се счита **теорията на Н. М. Westergaard** [16,17], която дава връзка между напрежения и деформации в бетонни настилки при следните предпоставки:

- бетонната плоча работи като хомогенно изотропно еластично тяло в равновесие;
- реакцията на основата е само вертикална и пропорционална на деформациите в основата;

▪ основата се разглежда като еластична среда, характеризираща се с т.н. **Винклерова константа (коэффициент на реакция на основата) с дименсия, изразяваща натоварването на единица площ за реализиране на единица деформация ( $MN/m^3$ ).**

По-съвременна трактовка на проблема дава **G. G. Meyerhof** [18], който предлага метод за определяне максималната носимоспособност на бетонна плоча на земна основа под действието на вътрешни, външни и такива, разположени по краищата на полето, товари.

**Rao & Singh** [19] продължават усъвършенстването на изчислителните методи, като доразвиват теорията на **Meyerhof** в посока на дефинирането и на уравнението за

равновесие при гранично натоварване на срязване. Те възприемат две състояния на разрушение:

- полукрехко - при променливо подвижно натоварване от колесен товар, при който се образува пластична става между плочата и основата, при това извън зоната на натоварването;

- крехко - при неподвижно (статично) натоварване, при което образуването на пластична става е около зоната на външното натоварване.

Базирайки се на горното определение индустриалните бетонни настилки могат да бъдат класифицирани в зависимост от:

- условия на експлоатация – закрито, открито;
- вида на основата – уплътнен насип, съществуващ бетон (адхезионен и плаващ тип), топлоизолационен слой;
- вид на бетона – тежък, обикновен, лек, безпясъчен;
- тип на армиране – неармирани, конвенционално армирани, дисперсно-армирани, хибридно армирани;
- конструктивен тип – фугов и безфугов;
- типа на финашното покритие – шлайфан бетон (без топинг или със силикатен, метален топинг, сулфатоустойчив и антистатичен топинг, полимерен финаш);
- с и без наличие на подово отопление;
- параметри „равнинност и гладкост“ – конвенционални и супер-гладки (**super-flat**);
- тънки репарационни и специални повърхностни слоеве (**overlays**) - „мокро върху сухо“, „мокро върху мокро“;
- наличие на дълбочинни кристализиращи системи;
- с електропроводим и антистатичен финаш, и пр.

Широко използваното в наши дни понятие „добра производствена практика“ (**GMP - Good Manufacturing Practice**) по същество е система от принципи и правила, специфицирани в разписани регламенти за изпълнение на различни разположени във времето и пространството специфични технологични операции, базирани на общо системно решение, водещо до предварително зададен технико-икономически резултат, гарантиращ качествен краен продукт.

По отношение на проектирането и изпълнението на дисперсно-армираните индустриални бетонни настилки, по същество липсва еднозначно формулирана нормативна база, както у нас, така и в Европа и света като цяло.

В Америка с авторитет се ползват специализираните документи на **American Concrete Institute (ACI)**, **American Highway Association (AHTA)**, **US Army Corps of Engineers**, **Association of Concrete Industrial Flooring Contractors (ACIFC)**, **Contract Flooring Association (CFA)** и пр.

В Европа, освен частично приложимия **Еврокод 2**, с призната значимост и практическа използваемост са принципите, залегнали в съответните технически доклади **Technical Report No34, 3-rd (2003)** и **4-th (2013) Edition, Concrete Industrial Ground Floor, A Guide to Design and Construction, The Concrete Society**, и пр. По същество тези документи са най-масово използвани в българската производствена практика, свързана с проектирането и изпълнението на индустриалните бетонни настилки

Българската нормативна уредба, базирана на съответни БДС EN стандарти, обхваща фрагментарно отделни части от „пъзела“, назоваван индустриални бетонни настилки.

Например, налице са съответни стандарти за определяне якостно-деформационните характеристики на основата, за бетона като основен конструкционен материал, за различните типове влакна (в контекста на техни материални характеристики – геометрични размери, качества на материала и пр., както и отнасянията им при натоварване на огъване), за изтриваемостта като основна характеристика на финашната



повърхност, за качествата на прахообразните повърхностни втвърдители и някои импрегниращи системи.

Напълно липсват, обаче, регламенти, свързани с конструирането и оразмеряването за различни товари и експлоатационни условия, оценка на ефективното действие на различните видове фуги, типови детайли, проектиране състава на бетона (доколкото към него се предявяват редица допълнителни изисквания), специфичното действие на защитни покрития, дълбочинни кристализиращи и компенсиращи съсъхването на бетона системи, показатели за равнинност и гладкост, планиран срок на експлоатация, специфицирани технологични методи за изпълнение и контрол, репарационни работи, поддръжка по време на експлоатация, гаранционни условия и пр.

Горекананото внася много смут в системата и отношенията между възложител, проектант, контролиращ орган и изпълнител. Нещо повече, липсата на цялостен регламент по същество не дава възможност за еднозначно формулиране на съответно адекватно техническо задание, което пък пряко оказва негативно влияние върху комуникацията между участниците в инвестиционния процес.

В съвременната практика, понастоящем се специфицират два големи конструктивни типа бетонни настилки – от т.н. „фугов“ (**jointed**) и „безфугов“ тип (**joint-less**).

При класическите фугови настилки, освен необходимите дилатационни, работни и изолационни фуги, в рамките на полето, ограничени от работни и/или дилатационни фуги, се конструират и изпълняват през определено разстояние т.н. **„привидни“** (рязани на дълбочина 1/3 от дебелината на сечението) фуги. Размерите на полетата, ограничени с различен тип фуги, са обект на изчислителни процедури. В общия случай те зависят от вида и качеството на основата, вида на натоварването, дебелината на настилка, характеристиките на бетона и системата на армиране. В този тип настилки критичен фактор е наличието на голяма сумарна дължина на рязаните фуги – примерно в рамките на единично поле с размери 30x30 m, ограничено с дилатационни профили, при растер на привидните фуги бхб m, общата дължина на тези фуги е от порядъка на над 300 линейни метра.

Този конструктивен тип настилки сами по себе си носят потенциал за експлоатационна ефективност, но в определени условия се оказват проблемни – преди всичко при интензивен трафик от подвижен товар с твърди бандажни колела и в условия на агресивни въздействия. Нещо повече, предпоставките за разбиване и компроментиране на изпълнените привидни фуги, могат да създадат непреодолими технологични проблеми при работа на електрониката на използваните манипулатори-високоповдигачи при наличие на високи стелажни системи. Освен това привидните фуги, макар и технологично обработени, прекъсват повърхностната еднородност и създават предпоставки за нарушаване непроницаемостта на бетонното сечение.

От конструктивна гледна точка, пак при наличие на натоварвания от стелажни системи, този тип настилки могат да се окажат също не особено ефективни – конфигурацията на стъпките на стелажната система следва да е съобразена с условието за определено отстояние до привидната фуга.

Схемата на рязане на привидните фуги се определя именно на етап конструиране на настилка – всички вградени в рамките на работното поле масивни и/или сглобяеми вертикални елементи следва да бъдат взети под внимание чрез ограждане с типични геометрични фигури при рязането (ромбове и триъгълници), предвид възможността присъствието им да предизвика концентрация на напрежения, водещи до пукнатинообразуване.

В този смисъл фуговия тип настилки се определят като цяло на по-ниско технологично ниво на изпълнение и експлоатация, обикновено при търсене на „бюджетен“ тип изпълнение.

Така логично се стига до идеята за елиминиране на привидните фуги, като се търси максимизиране на непрекъснатостта на конструктивните полета в рамките на настилка. Тази идея напоследък се осъществява много успешно в световната практика чрез изпълнението на настилки от „безфугов“ (joint-less) тип [20]. В конструктивно отношение този тип дисперсно-армирани бетонни настилки могат да ограничават относително големи единични полета с конфигурация, близка до квадратната (при съотношение на страните до 1:1,5), с площи от порядъка на 1000-2000 m<sup>2</sup> и повече. Отделните полета се ограничават със специални дилатационни промишлено изработени готови профили (със съответна дюбелираща система), монтирани предварително в план и по ниво, които играят ролята и на работни фуги. С най-висока степен на иновативност и оптимално експлоатационно представяне са т.н. синусоидални и косинусоидални фуги, осигуряващи максимално висок коефициент на трансфер на подвижни товари, дълготрайност, щадящ режим на износване на подвижния трафик, съчетан с комфорт на експлоатация. Този тип фуги, освен необходимия трансфер на натоварването при преминаването от едно в друго поле, осигуряват безпроблемно хоризонтално преместване в паралел с развитието на свободните деформации на бетона при хидратация, втвърдяване и температурни промени – Фигура 4., Снимка 1.



Фигура 4. Синусоидална дилатационна фуга  
HCJ Cosinus Slide Joint



Снимка 1. Безфугова хибридно дисперсно-армирана индустриална бетонна настилка

В рамките на отделното поле в последствие не се изпълняват привидни фуги. По този начин се осигурява монолитност и непрекъснатост на повърхността, което е гаранция за бъдеща експлоатационна безпроблемност.

Безфуговите настилки се оразмеряват по специфичен начин, като в случая логично отпада оразмеряването за разположение на товара по ръба или в ъгъла на отделното поле, ограничено с привидна фуга. Това е фактор за наличие на възможности, при равни други условия, за поемане на по-голямо експлоатационно натоварване.

Високото съвременно технологично ниво на конструиране, оразмеряване и изпълнение се основава именно на т.н. „безфугов тип“ дисперсно-армирани индустриални бетонни настилки. Въпреки това, в рамките на даден проект, в зависимост от геометрия на настилка в план, наличие на вградени технологични участъци като рампи, подходи, технически помещения и пр., експлоатационни натоварвания, вид на основата и пр., могат да присъстват едновременно зони, изпълнени по двете основни конструктивни системи – фугов и безфугов тип. Умелото съчетаване на предимствата на двете системи е в основата на добрата производствена практика при проектирането във фаза конструиране.

От своя страна следва да се има предвид, че при безфуговите системи от ключово значение се оформя изискването за минимизиране размера на свободните деформации на бетона – особено предвид оформянето на значителни по размер площи с не винаги правилна геометрия, ограничени само с дилатационни профили.

### 3.3. Изграждане, ремонт и усилване на конструкции чрез торкретиране

Торкретирането е патентована технология през 1911 г. в Чикаго. Системата дава възможност за безкофражно полагане на цименто-пясъчен разтвор или бетон под високо налягане върху различни повърхности чрез използване на специализиране техника – торкретмашини (Фигури 5 и 6).

Прилагат се два основни метода на торкретиране, т.н. „сух“ и „мокър“ метод.

Обобщено може да се каже, че изборът на метода на торкретиране следва да се основава на многофакторен анализ, отчитащ максимално голям брой (понякога взаимно противоречащи си) технико-технологични и финансови параметри.

В специализираната техническа литература по темата особено популярна е т.н. **теория на петте въпроса с „W“ (What? Why? Where? When? Who? [21]:**

**What (какво ?)** – определя се типа и целта на работа;

**Why (защо ?)** – дали торкретирането е правилно избраната технология от технико-икономическа гледна точка, ако „да“, коя от двете;

**Where (къде ?)** – местоположение, особености в разположението на обекта и възможност за разполагане на техника и доставка на материали;

**When (кога ?)** – климатични особености по време за изпълнението, срокове и начало на експлоатация;

**Who (кой ?)** – кой е изпълнител и налице ли са технически и персонални условия за качествено изпълнение.



Фигура 5. Машина за сухо торкретиране



Фигура 6. Машина за мокро торкретиране

Мокрото торкретиране се базира на работа със заводски произведени под сертифициран контрол „нарочно“ проектирани и гъвкаво оптимизирани да отговорят на специфични технически изисквания и условия на експлоатация бетонни смеси, с потенциал за многофакторна оптимизация по отношение на състава – вариативност в избора на тип цимент, фракционирани добавъчни материали, специални силно водоредуциращи химични добавки, специфични дълбочинни кристализатори и полимерни модификатори, дисперсна армировка от различни типове влакна (фибри) и пр. Основните предимства на метода са повишената производителност, възможности за постигане на дебел слой при едноктактово полагане, сведена до абсолютен минимум субективност по време на изпълнението и повишена степен на екологичност при хомогенизиране на състави и полагане в реални производствени условия. Недостатък на метода е невъзможността да бъде прилаган при липса в района на работа на сертифицирано бетоново стопанство.

Понастоящем методите на мокро торкретиране се прилагат с голям успех за изпълнение на редица специализирани строителни работи – укрепване на скатове, изграждане на нови и ремонт на хидротехнически съоръжения, басейни, възстановяване

сечения на дефектирали стоманобетонни конструкции, вкл. усилване на същите, подземни галерии и съоръжения в транспортното и минно строителство, както и в много други специализирани случаи (Снимки 2,3,4 и 5).



Снимка 2. Тунели



Снимка 3. Къщи



Снимка 4. Скатове



Снимка 5.  
Укрепване на  
изкопи

Възможността в състава на заводски приготвената бетонна смес, освен конвенционални материали, да се включват и дисперсна армировка от различен тип и количество, плюс неограничен брой специални добавки предоставя нови възможности в представянето на изпълнените по този технологичен метод строителни мероприятия.

#### **4. ОБОБЩЕНИЕ НА СЪЩЕСТВУВАЩАТА ПРАКТИКА**

Следва да се отбележи, че използване на дисперсното армиране с различни комбинации и количества фибри е отвоювало специално място в съвременната строителна практика. Специфичното отнасяне на такива композити е в основата на редица съвременни строително-технологични системи, част от които вече дискутирахме по-горе в изложението.

Всичко това, обаче, съвсем не означава че е постигнат възможния връх по отношение на ефективността им. В изложението вече акцентирахме за възможността и необходимостта от подобряване представянето на дисперсно-армираните композитни системи чрез целенасоченото използване на авангардни строителни продукти и технологии, способни решително да увеличат техническите характеристики и дълготрайността на изгражданите елементи и конструкции.

Тук усилията следва да бъдат насочени към повишаване ефективността на представяне на тези композитни системи в различните фази на тяхното формиране – доструктурен стадии (бетонна смес), различни фази на структуриране (втвърдяващ композит) и втвърдил композит (формирана структура). Видно е, че всяка отделна фаза е със съответни изисквания и принос за цялостното общо представяне на композита като цяло.

Логично изложението във втората част на доклада е насочено именно в такава посока.

#### **БЛАГОДАРНОСТИ**

The financial support of the National Science Fund of Ministry of Education and Science, Bulgaria, contract H 27/29, 2018, is gratefully acknowledged.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Suvash P., Gideon P. van Zijl, B. Savija, Effect of fibers on durability of concrete: Practical review, Open Access Journal Materials, MDPI, 2020.

- [2] Shah S.P. Do Fibers Increase the Tensile Strength of Cement-Based Matrix? *ACI Material Journal*, Vol. 88, 1991
- [3] Mindess S. Fibre Reinforced Concrete: Challenge and Prospects. In *Fiber Reinforced Concrete – Modern Developments*, Banthia N. and Mindess S. (eds.) Canada, 1995
- [4] Li V.C., Maalej M. Toughening in Cement Based Composites. Part I: Cement, Mortar and Concrete. *Cement and Concrete Composites* 18, 1996
- [5] Löfgren I. *Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction – a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis*, Göteborg, 2005
- [6] Bentur A. Microstructure, interfacial effects and micromechanics of cementations composites. *Advanced Cementitious Materials* (ed. S. Mindess), The American Ceramic Society, 1991
- [7] ACI 325.13R-06. *Concrete Overlays for Pavements Rehabilitation*
- [8] RILEM State of the Art Report'2011. *Bonded Cement-based Material Overlays for the Repair, the Lining or the Strengthening of Slabs or Pavements*. Springer, Dordrecht Heidelberg, London, New York, ISBN 9789400712386
- [9] *Guidelines for Selection of Bridge Deck Overlays, Sealants and Treatments*. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Project 20-07, Task 234, Northbrook, 2008
- [10] Van Zijl, Boshoff (eds). *Advanced Cement-based Materials*. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-87637-7, 2010.
- [11] Dore G., H. Zubeck. *Cold Region Pavements Engineering*, ASCE PRESS, McGraw Hill, 2009.
- [12] ACI 546R-04 *Concrete Repair Guide*
- [13] ACI 544.5R *Report on the Physical Properties and the Durability of Fiber-Reinforced Concrete*
- [14] Beddows, J., and Purnell, P., 2003, “Durability of New Matrix Glass Fibre-Reinforced Concrete, GFRC 2003 Proceedings of 12th Congress of the GRCA, J. N. Clarke and R. Ferry eds., Barcelona, Spain, (1-11)
- [15] Найденов В., Дисперсно-армирани цимент-съдържащи композити - свойства и ефективни области на приложение, София, 2016, ISBN 978-619-90686-0-1
- [16] Westergaard H. M., Computation of stresses in concrete roads, *Proc. of the 5<sup>th</sup> Annual Meeting of the Highway Research Board*, Vol. 5, Part I, 1925 (90-112)
- [17] Westergaard H. M., Stresses in concrete pavements computed by theoretical analysis, *Public Roads*, Vol. 7, No2, April, 1926
- [18] Meyerhof G., Load carrying capacity of concrete pavements, *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. of the American Society of Civil Engineers*, 1962
- [19] Rao, K. and Singh, S. (1986). Concentrated Load-Carrying Capacity of Concrete Slabs on Ground. *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-9445(1986)112:12(2628), 2628-2645
- [20] Найденов В., Ив. Ростовски, Г. Маринов. Безфугови дисперсно-армирани шлайфани бетонни настилки в „Инсталация за преработка на твърди битови отпадъци“, гр. Варна. Сб. докл. на Межд. конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 13-15.09.2012 г., Варна, ISSN: 1314-6955 (109-115)
- [21] Jacques Bertrand, *Shotcrete Supply: Dry or Wet? A Shotcrete Supplier's Perspective*, Shotcrete, Spring, 2006