

**КОМПЛЕКСНА ОЦЕНКА ЗА ПРИЛОЖИМОСТТА НА РАЗЛИЧНИ СИЛНО  
ВОДОРЕДУЦИРАЩИ ХИМИЧНИ ДОБАВКИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА БЕТОННИ  
СМЕСИ ЗА ДИСПЕРСНО-АРМИРАНИ ТЪНКИ РЕПАРАЦИОННИ СЛОЕВЕ И  
ИНДУСТРИАЛНИ БЕТОННИ НАСТИЛКИ  
ЧАСТ 1: ЛАБОРАТОРНИ ИЗПИТВАНИЯ**

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

**COMPLEX ASSESSMENT OF THE APPLICABILITY OF VARIOUS HIGH WATER-  
REDUCING CHEMICAL ADMIXTURES FOR FIBER-REINFORCED FLOORINGS  
AND THIN REPAIR OVERLAYS PART 1: LABORATORY TESTS**

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

**Abstract:**

*Concrete mixes for these types of structures are subject to special requirements due to the peculiarities of the technological operations of leveling, compacting and finishing by power-floating machine of the surface. The concrete mix design should be consistent with the safe handling of the operating loads and environmental and production factors, as well as with the particularities of the technological system of execution. In this regard, the need to use special high-range water reducing admixtures (HRWRA) with respective evaluation of their complex action is an integral part of the proper concrete mix design. The report discusses the original scientific results on the effectiveness of many of HRWRA based on purposeful laboratory testing. On this basis, a limited range of them have been selected for respective testing in real production conditions.*

**Keywords:**

*fiber-reinforced concrete floorings, thin repair concrete overlays, high-range water reducing concrete admixtures, lab tests performance*

**1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Понастоящем в теорията и практиката съществува относителна нееднозначност в определението и в методите на конструиране и оразмеряване на дисперсно-армирани индустриални бетонни настилки и тънки репарационни слоеве, предвид и обстоятелството, че подобен тип конструкции не са дефинирани, както в **Правилника за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции**, така също и в **Еврокод 2 - БДС EN 1992-1-1:2005: Проектиране на бетонни стоманобетонни конструкции, Част 1-1: Общи правила и правила за сгради, респективно и в Национално приложение (NA:2011) към него.**

<sup>1</sup> Валерий Найденов, доц. д-р инж., Институт по механика – БАН, 1113 София, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 4, valna53@mail.bg; Valeriy Naidenov, Assoc. Prof. Dr. Eng. Institute of Mechanics - BAS, 1113 Sofia, Acad. G. Bonchev Street, Block 4, [valna53@mail.bg](mailto:valna53@mail.bg)

<sup>2</sup> Иван Ростовски, доц. д-р инж., УАСГ, 1046 София, бул. „Хр. Смирненски“, №1, i\_rostovsky@abv.bg; Ivan Rostovsky, Assoc. Prof. Dr. Eng., UASG, 1046 Sofia, Hr. Smirnensky Blvd. 1, [i\\_rostovsky@abv.bg](mailto:i_rostovsky@abv.bg)

<sup>3</sup> Мирона Миронова, доц. д-р инж., Институт по механика – БАН, 1113 София, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 4, mirona@abv.bg; Mirona Mironova, Assoc. Prof. Dr. Eng. Institute of Mechanics - BAS, 1113 Sofia, Acad. G. Bonchev Street, Block 4, [mirona@abv.bg](mailto:mirona@abv.bg).

В този смисъл е и предложеното **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 [1].

Към бетонните смеси за дисперсно-армирани индустриални бетонни настилки и тънки репарационни слоеве се предявяват специални изисквания, продиктувани от особеностите на технологичните операции по подравняване, уплътняване и финална обработка чрез машинно шлайфане на повърхността.

Проектирането състава на бетона трябва да бъде съобразено, освен с безопасното поемане на експлоатационните товари и фактори на въздействие на околната и производствена среда, така също и с особеностите на технологичната система за изпълнение.

И в случая т.н. “метод на последователните приближения”, включващ предварително проучване, изчислителен и експериментален етап с корекции в лабораторни условия и на производствено ниво, се приема за основен с някои особености в изчислителния етап.

В случая се прилага по-съвременна интерпретация, която по-пълно съответства на специфичните технологични изисквания. Тя включва разбиране за необходимостта празнините на едрите добавъчни материали (ЕДМ) да бъдат повече от 100% запълнени с цименто-пясъчен разтвор (т.е. зърната на ЕДМ да “плуват” в цименто-пясъчен разтвор) с цел постигане на по-добра обработваемост и качествен финиш на повърхността.

В изчисленията обикновено приемаме обемът на цименто-пясъчния разтвор да превъзхожда с **12-18%** празнините на ЕДМ. По този начин се осигурява необходимата специфична повишена обработваемост на бетонната смес, която в различните фази на процеса на изпълнение на настилките следва да има конкретни характеристики – най-вече липса на водоотделяне и сегрегация, както и достатъчно количество цименто-пясъчна паста на повърхността за качествено адхезиране на прахообразния повърхностен втвърдител при шлайфане, без условия за деламинация.

Освен удовлетворяване на чисто якостно-деформационни изисквания, които са в основата на конструирането и статическите изчисления на настилката, към втвърдения бетон се предявяват и високи изисквания по отношение на минимизиране на свободните деформации на бетона, основно ограничаване на съсъхването в различните му проявления в различните фази на развитие на процеса на хидратация.

В този смисъл включването на високоефективни силно-водоредуциращи химични добавки (**High range water Reducing Admixtures - HRWRA**) в състава на бетона е наложително.

Повечето от наличните на българския пазар такива добавки от поликарбоксилатен тип (**HRWRA-PCE**) предоставят възможност за намаляване на водоциментовото отношение ( $w/c$ ) до необходимите нива -практически необходими стойности на  $w/c$  **под 0,50 при осигурена обработваемост в рамките на консистенция S3 или S4**. Тук следва да се има предвид и фактът, че при обичайните стойности на участие на дисперсна армировка от конструктивни стоманени влакна в рамките на  $20-35 \text{ kg/m}^3$ , в зависимост от техния тип и геометрични характеристики, обработваемостта на бетонна смес рязко се понижава. Последното повишава изискванията към осигуряването на ефективна висока степен на водоредукция от страна на химичните добавки.

За съжаление, обаче, принципно и практически е установено, че повечето от **HRWRA-PCE** силно затрудняват и, понякога, правят невъзможно качествено

изпълнение на отделните технологични операции при изпълнение на машинното шлайфане.

По този начин в актуалната производствена практика се оформя на пръв поглед непреодолимо противоречие - изискването за минимизиране на **w/c**, макар и на пръв поглед лесно осъществимо със споменатия тип добавки, се оказва че внася редица затруднения от чисто технологични съображения.

Горе-казаното дава основание за стартиране на комплексна изследователска програма за провеждане на сравнителни изследвания, насочени към оценка на приложимостта и ефективността от включване на различни **HRWRA-PCE** в състави на бетона за изпълнение на индустриални дисперсно-армирани бетонни настилки.

Програмата включва следните етапи:

- проектиране на оптимален състав на бетон за провеждане на експериментите;
- избор на различни **HRWRA** - предложения на различни производители чрез техните представители в България;
- лабораторни изпитания за комплексна оценка на ефективността на широк кръг **HRWRA**;
- рационален избор на определен брой **HRWRA** за провеждане на изпитания в реални производствени условия;
- промишлени изпитания със следена на критични показатели, вкл. технологични особености при машинно шлайфане;
- критична оценка с изводи за приложимостта на **HRWRA** в състави на бетони за дисперсно-армирани индустриални бетонни настилки.

## 2. СЪСТАВ НА БЕТОНА

Проектиран е състав на дисперсно-армиран бетон, подходящ за изпълнение на индустриални бетонни настилки, базиран на често използван тип цимент - СЕМ II 42,5 (A-LL) на ДЕВНЯ ЦИМЕНТ, плюс минимално участие на тецова пепел. В състава на бетона са включени и два вида пясък - чист речен и трошен, фр. 0-4 mm, както и две фракции висококачествен трошен камък – фр. 4-11,2 и фр. 11,2-22,4 mm. Дисперсната армировка е от висококачествени стоманени влакна (фибри) HE 0,75/60 в дозировка 30 kg/m<sup>3</sup>. Така композиран съставът се разглежда като представителен за изпълнението на такъв тип настилки.

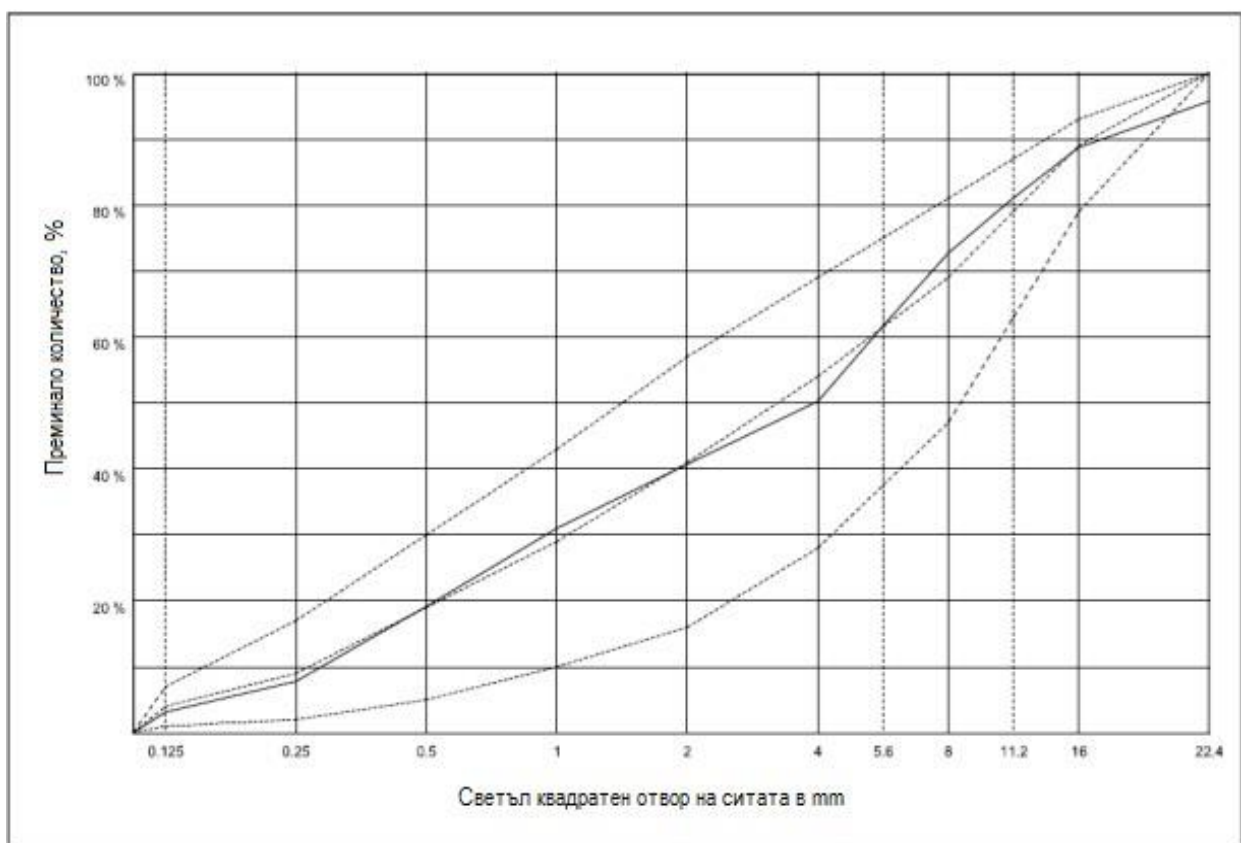
Съставът на бетона е представен на Таблица 1., а обобщената зърнометрична крива (**all-in curve**), близка до оптималната, е представена на Фигура 1.

Таблица 1. Рецептурен състав на бетона

№	МАТЕРИАЛИ	КОЛИЧЕСТВО, kg/m <sup>3</sup>
1.	ЦИМЕНТ ДЕВНЯ СЕМ II 42,5 A-LL	350
2.	Пепел ТЕЦ "Република"	30
3.	Пясък речен 0-4 mm, к-ра „Челопечене“	595
4.	Пясък трошен 0-4 mm, к-ра "Хидроминерал", с. Студена	260
5.	Трошен камък 4-11 mm, к-ра "Хидроминерал", с. Студена	590
6.	Трошен камък 11-22 mm, к-ра "Хидроминерал", с. Студена	400
7.	Стоманени фибри HE 0,75x60	30
8.	Вода	≈175
9.	Химична добавка	по спецификация

Фракция	Съставен материал	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	63	k ст-ст
0-4	Трошен камък	10,1	17,5	28,8	46,3	73,5	96,7	100,0	100,0	100,0	100,0	2,37
0-4	Речен пясък	4,6	15,2	43,2	70,3	86,4	96,8	100,0	100,0	100,0	100,0	1,88
4-11,2	Трошен камък	0,5	0,5	0,5	0,9	2,4	11,0	72,8	100,0	100,0	100,0	5,12
11-22	Трошен камък	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,9	3,6	40,6	100,0	100,0	6,53

Фракция	Съставен материал	Произход	Об. %	kg/dm <sup>3</sup>
0-4	Трошен камък	Хидроминерал ООД, Студена	13,00	2,77
0-4	Речен пясък	Хидроко ПИМ, Чепопечене	35,00	2,59
4-11,2	Трошен камък	Хидроминерал ООД, Студена	33,00	2,81
11-22	Трошен камък	Хидроминерал ООД, Студена	19,00	2,81



Фракция	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	63,0
0-4	1,3	2,3	3,7	6,0	9,6	12,6	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
0-4	1,6	5,3	15,1	24,6	30,2	33,9	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
4-11,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	3,6	13,5	24,0	30,6	33,0	33,0	33,0	33,0
11-22	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,7	2,5	7,7	14,7	19,0	19,0
Зърн. крива	3,1	7,8	19,1	31,0	40,7	50,3	61,7	72,7	81,1	88,7	95,7	100,0	100,0
k-стойност	3,90												

Фигура 1. Обобщената зърнометрична крива (all-in curve)

### 3. ИЗБОР НА HRWRA

Изборът на съответните видове химични добавки е основан на съответните предложения на различни производители, с представителства в България -

**KRYSTALINE, CHRYSO, BASF, SİKA, MAPEI, MC BAUCHEMIE, ADING, DCP и AYDOS (ТЕНЗОР)** - обобщена Таблица 2. Дозировката на всяка една от тях е в рамките на визираната в съответните технически спецификации, предоставени от представителите на производителите. Количественото участие на всяка от добавките е съобразена и с необходимостта от търсене на оптимална дозировка при приемлива цена, при осигурена таргетна стойност на обработваемостта при  $w/c$  под 0,50.

За контролен (сравнителен) е избран бетон с представената рецептура (Таблица 1.) без участие на химична добавка.

#### 4. ЛАБОРАТОРНИ ЗАМЕСИ

За лабораторните замеси, осъществени чрез конвенционална бетонобъркачка с обем на коша 100 l, са използвани предварително изсушени добавъчни материали, които са хомогенизирани с цимента и тецовата пепел при контролирано количество на химичната добавка и на направна вода за получаване на консистенция на бетонната смес в рамките на **S4**.

Спазвани са изискванията, включени в съответните технически спецификации на продуктите, по отношение на последователността, начин на влагане и време за хомогенизиране на съответната химична добавка.

Веднага след края на процеса на хомогенизация е определяна мярката на слягане с конус на Абрамс - Снимки 1-15. На този етап времето за задържане на консистенцията не е определяно, както и степента на въздуховъвличане. Последната характеристика е важна, но възниква основателен въпрос в кой момент следва да бъде проследена - ясно е, че стойността ѝ пряко зависи от множество фактори, като рецептурен състав, участие на дисперсна армировка от различен тип и количество, начин и време за хомогенизация, транспортно разстояние и пр.

След измерване на мярката на слягане от готовата смес са произведени по 6 бр. пробни тела (кубчета 15x15x15 cm) за определяне якостта на натиск на 7- и 28-дневна възраст при отлежаване във въздушно-сухи (стайни) условия - по 3 за всяка възраст.

Всичките 14 различни състава са произведени в рамките на едни същи ден при типични за лабораторни условия температура и влажност на въздуха.

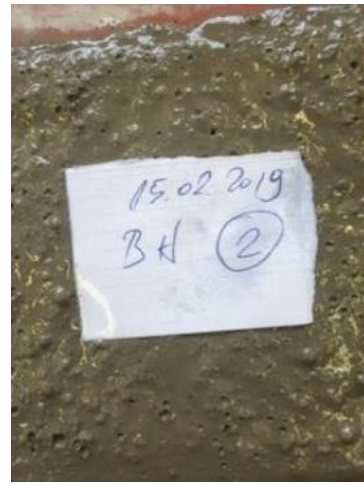


Снимка 1. „0“ контрола,  
Слягане  $s = 16,5$  cm;  $w/c = 0,680$



Снимка 2. „1“ KRYSTALINE Polidex,  
Слягане  $s = 20,0$  cm;  $w/c = 0,483$ ,  
водоотделяне, светло кафяв бетон





Снимка 3. и 4., 2“ CRYSO Fluid Optisol 30,  
Слягане  $s = 17,0$  cm;  $w/c = 0,507$ , въздухоотделяне



Снимка 5. „3“ BASF MasterGleniumSky 691;  
Слягане  $s = 16,0$  cm;  $w/c = 0,523$

Снимка 6. „4“ MAPEI Dynamon Floor 10;  
Слягане  $s = 19,0$  cm;  $w/c = 0,523$



Снимка 7. „5“ MAPEI Dynamon SX 14;  
Слягане  $s = 18,0$  cm;  $w/c = 0,500$

Снимка 8. „6“ MC Power Flow 5695;  
Слягане  $s = 17,0$  cm;  $w/c = 0,523$



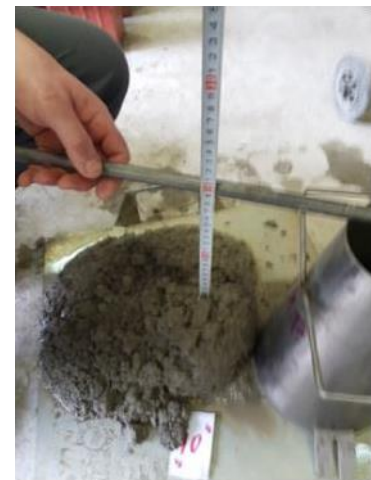
Снимка 9. „7“ MC Muraplast FK 48;  
Слягане  $s = 16,0$  cm;  $w/c = 0,548$



Снимка 10. „8“ SIKA Plast 175 S;  
Слягане  $s = 19,0$  cm;  $w/c = 0,548$



Снимка 11. „9“ ADING Superfluid AM;  
Слягане  $s = 20,0$  cm;  $w/c = 0,512$



Снимка 12. „10“ - TENZOR H 2921  
Слягане  $s = 19,0$  cm;  $w/c = 0,54$ , въздух



Снимка 13. „11“ - SIKA Viscocrete 1020 X;  
Слягане  $s = 20,0$  cm;  $w/c = 0,536$



Снимка 14. „12“ DCP PC 130,  
Слягане  $s = 19,0$  cm;  $w/c = 0,536$ ,  
водоотделяне





Снимка 15. „13“ DCP SP 3002 (нафталинова база)  
Слягане  $s = 12,0$  cm;  $w/c = 0,571$



Снимки 16. и 17. Общ вид на част от пробните тела за якост на натиск

Резултатите от проведените лабораторни изпитания са представени в Таблица 2. В обобщен вид, удобен за анализ, са представени получените резултати за мярката на слягане, стойността на водоциментовото отношение, якост на натиск на 7- и 28-дневна възраст.

## **5. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ - ИЗБОР НА ОПРЕДЕЛЕН БРОЙ HRWRA ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗПИТАНИЯ В РЕАЛНИ ПРОИЗВОДСТВЕНИ УСЛОВИЯ**

Обективният анализ на получените резултати от проведените изпитания в лабораторни условия дават възможност за формулиране на съществени изводи:

### **5.1. Водоредуцираща способност и компактност на сместа**



- на практика всички изследвани **HRWRA** показват активно и забележително водоредуциращо действие, позволяващо получаването на консистенция на бетонната смес в рамките на S4 при водоциментово отношение около 0,5. За сравнение, контролният състав без добавки, реализира такава обработваемост на места при водоциментово отношение 0,68;
- сравнявани само и единствено по степента на водоредукция **Polidex** е най-ефективна - при водоциментово отношение 0,483 се реализира слягане на бетонната смес 20 cm. За съжаление получената бетонна смес се характеризира със значително водоотделяне, разслоеност и, не на последно място, с нетипично кафяво оцветяване на отделената вода на повърхността;
- почти същото може да се каже и за **CHRYSO Fluid Optisol 30**, с тази разлика, че липсата на нетипично оцветяване на повърхността е придружено с видимо сериозно въздухоотделяне (високо неконтролируемо въздуховъвличане), макар и при демонстрирана добра водоредуцираща способност - водоциментово отношение 0,507 се реализира слягане на бетонната смес 17 cm;
- **BASF Master Glenium Sky 691** демонстрира относително най-добро представяне по отношение на достатъчно добра водоредуцираща способност и компактност на бетонната смес при доста висока обработваемост - при водоциментово отношение 0,523 се реализира слягане на бетонната смес 16 cm;
- двете добавки на **MAPEI (Dynamon Floor 10 и Dynamon SX 14)**, както и **MC Powerflow 5695, ADING Superfluid AM и SIKA Viscocrete 1020 X** демонстрират сходни представяния по отношение на водоредуцираща способност и компактност на бетонната смес;
- добавките **AYDOS H2921 и DCP PC 130** при добра водоредуцираща способност показват съществени проблеми, свързани с високо въздуховличане при първата от тях, както и съществено водоотделяне при втората;
- втората тествана добавка на **DCP - SP 3002**, очевидно отстъпва по степен на водоредукция, което може да се очаква, предвид фактът, че е на нафталинова основа.

## 5.2. Якостни показатели

Предвид фактът, че якостните характеристики могат да бъдат контролирани успешно по различни начини (рецептурни фактори, количествено участие на химичните добавки, промяна на типа на цимента и неговото количествено участие, и пр.), получаваните якости са от второстепенно значение за таргетираното специфично използване на тестваните бетонни смеси - качествени дисперсно-армирани бетонни настилки и тънки репарационни слоеве. В този смисъл всички изследвани добавки могат да бъдат разглеждани като такива, чрез които могат да бъдат постигнати необходимите якости на втвърдения бетон. Видно е, че на практика почти всички изследвани рецептурни състави с участие на **HRWRA** на 7-дневна възраст на практика покриват изискванията на бетон с клас по якост на натиск C30/37.

## 5.3. Обобщена бална оценка

В допълнение е представена и обобщена **бална (рангова) оценка** за вида и поведението на бетонна смес преди начало на втвърдяване - като предварителен критерий за редуциране броя на тестваните химични добавки и избор на стеснен кръг за провеждане на промишлени изпитания в реални производствени условия.

В табл. 2 са представени 6-те най-високо оценени **HRWRA (BASF Master Glenium Sky 691, MAPEI Dynamon Floor 10, MAPEI Dynamon SX 14, MC Power Flow 5695, ADING Superfluid AM и SIKA Viscocrete 1020 X)**, с които ще продължат изпитания

в реални производствени условия - заводско произведени бетонни смеси и машинно шлайфане в реални производствени условия.

Таблица 2. Обобщение на резултатите от лабораторните изпитвания

проба №	HRWRA /забележка	Разход-на норма, % от цимента (по TDS)	Слягане, S, cm	W/C	Якост на натиск 7 дни, МПа	Якост на натиск 28 дни, МПа	Бална оценка (1 до 6)
0.	Контрола без добавка	-	16,5	0,680	22,00	29,40	-
1.	Polidex водоотделяне, кафяв бетон	1,2% (0,5-3,0)%	20,0	0,483	31,60	38,60	2
2.	CHRYSO Fluid Optisol 30 въздухоотделяне	1,2% (0,6-1,8)%	17,0	0,507	36,10	44,10	3
3.	BASF Master Glenium Sky 691	0,85% (0,4-1,2)%	16,0	0,523	39,0	47,10	5,5
4.	MAPEI Dynamon Floor 10	1,4% (0,8-2,0)%	19,0	0,523	38,30	46,60	4,5
5.	MAPEI Dynamon SX 14	1,2% (0,5-1,5)%	18,0	0,500	40,20	48,20	5
6.	MC Power Flow 5695	1,2% (0,2-5,0)%	17,0	0,523	46,20	50,90	5,5
7.	MC Muraplast FK 48	1,4% (0,2-4,0)	16,0	0,548	37,60	42,80	3
8.	SIKAPlast 175S	1,4% (0,3-2,5)%	19,0	0,548	39,10	48,10	3
9.	ADING Superfluid AM	0,7% (0,5-2,0)%	20,0	0,512	32,60	38,80	4,5
10.	AYDOS H2921 Tenzor въздухоотделяне	0,7% (0,5-2,0)%	19,0	0,548	39,80	50,70	2
11.	SIKA Viscocrete 1020 X	1,0% (0,5-1,5)	20,0	0,536	41,60	48,40	5
12.	DCP PC 130 (водоотделяне)	0,9% (0,5-1,5)	19,0	0,536	41,60	52,20	4
13.	DCP SP 3002 ниска водоредукция	1,2% (0,5-2,5)%	12,0	0,571	35,10	42,30	2

Избрани HRWRA за провеждане на изпитания в производствени условия

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведените лабораторни изследвания за установяване ефективното действие на голям брой силно-водоредуциращи химични добавки дават възможност да се направи

предварителна оценка за вероятната им приложимостта в състави на дисперсно-армирани бетони за индустриални бетонни настилки и тънки репарационни ремонтни слоеве.

Получени са оригинални научни резултати за степента на водоредукция и макро-реологично поведение на бетонната смес веднага след хомогенизиране. Тези характеристики са допълнени с изследване на якостта на натиск на 7- и 28-дневна възраст. Комплексният анализ на изследваните характеристики позволява на база бална (рангова) оценка да се определят тези от тях с най-голям предварителен потенциал за провеждане на изпитания в реални производствени условия - заводско приготвяне и доставка на бетонната смес и последващо машинно шлайфане.

### **БЛАГОДАРНОСТИ**

The financial support of the National Science Fund of Ministry of Education and Science, Bulgaria, contract КП -06- Н 27/7, 2018, is gratefully acknowledged.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Найденов В., "Дисперсно-армирани цимент-съдържащи композити - свойства и ефективни области на приложение", София, 2016, ISBN: 978-619-90686-0-1),(книга).
- [2] Technical Report 34, 3-rd Edition, Concrete Industrial Floors, A Guide to Design and Construction, ACIFC, Concrete Society, 2003, UK.
- [3] Hadebratt J., Industrial Fibre-reinforced Floors, TRITA-BKN, Bulletin 113, 2012, ISRN KTH/BKN/B-113\_SF, Stockholm, 2012.