



**Годишен семинар на ССЛСБ, 20 и 21
ноември 2025 г. , гр. Трявна**



**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА
ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН
ОТПЕЧАТЪК“**

Иван Ростовски, УАСГ

**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

Участници:

**УНИВЕРСИТЕТСКА СТРОИТЕЛНА
ИЗПИТВАТЕЛНА ЛАБОРАТОРИЯ
(УСИЛ), със СЪДЕЙСТВОНИЕТО НА
ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ИЗПИТВАНЕ КЪМ
„ЕН ДЖИ ЕН“ ООД, гр. ХАСКОВО и
„ИЗПИТВАТЕЛЕН ЦЕНТЪР ПО
СТРОИТЕЛСТВО (ИЦС) при НИСИ
ЕООД.**

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Резюме:

Основната задача на настоящото сравнително изследване се свежда до установяване на влиянието на пет броя смесени цименти, които влизат в обхвата на серията стандарти БДС EN 197, върху основни характеристики на пресния и втвърдения бетон. Циментите са означени условно като А, В, С, D и Е, като до завършване на изпитванията не е известен типа и подтипа на цимента, който съответства на конкретното означение.

Преди изготвяне на настоящия доклад от Възложителя е получена информация, която е показана в таблицата по-долу.

Съкращение	Означения, съгласно БДС EN 197-1, 5
A	CEM VI/S-LL
B	CEM II/C-M (V-LL)
C	CEM II/C-M (S-LL)
D	CEM II/C-M (P-LL)
E	CEM II/C-M(Q-LL)

Съставни материали за бетон:

За производството на бетонните смеси, включени в експерименталната програма са използвани естествени добавъчни материали и силноводонамаляваща химична добавка, както следва:

- Естествен речен пясък, фракция 0/4 mm;**
- Естествен трошен камък, фракция 4/11,2 mm, находище с. Студена, Софийска област;**
- Естествен трошен камък, фракция 11,2/22,4 mm, находище с. Студена, Софийска област;**
- Силноводонамаляваща/суперпластифицираща химична добавка на основа модифицирани поликарбоксилати.**

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Общи положения:

В състава на бетонната смес, съотношението между циментовата паста и добавъчните материали (mix design), се определя от следните фактори:

- 1) Подходяща обработваемост на бетонната смес, съобразена с начина на полагане и геометричните параметри на конструкцията;**
- 2) Време за запазване на подвижността;**
- 3) Необходима якост (клас по якост) и дълготрайност на втвърдения бетон, за съответните условия на експлоатация (клас по въздействие на околната среда);**
- 4) Мразоустойчивост и водонепропускливост;**
- 5) Топлина на хидратация**
- 6) Минимална цена на бетона и др.**

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Общи положения:

Добавъчните материали могат да повлияят на следните свойства на бетона:

- **якост;**
- **дълготрайност;**
- **поведение в строителната конструкция (коравина и пълзене);**
- **намалени обемни деформации;**
- **икономия на цимент.**

Добавъчните материали имат 3 основни функции в бетона.

- **да осигурят определено количество частици, които да имат необходимата коравина и успешно да се съпротивляват на действието на приложените външни товари, и да имат по-висока дълготрайност от циментовата паста.**
- **да осигурят относително евтин пълнител в състава на бетона.**
- **да намалят обемните изменения на бетона, вследствие на процесите на свързване и втвърдяване на циментовата паста и/или промяна на влажността.**

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Смесени цименти и минерални добавки:

Минералните добавки към цимента (и бетона) са неорганични финосмлени материали за използване в цимент и/или бетон, за подобряване на отделни свойства или за получаване на специални свойства, които в зависимост от механизма на своето действие се разделят на:

- минерални добавки тип I - относително инертни минерални добавки (виж EN 206+A2), чието използване допринася за увеличаване на фини частици респ. циментова паста, в състава на бетонната смес. Използването на този тип добавки подобрява обработваемостта на бетонните смеси, без да се налага да се увеличава съдържанието на цимент;
- минерални добавки тип II - пуцоланови или латентни хидравлични минерални добавки (виж EN 206+A2), които съдържат SiO_2 и/или Al_2O_3 , в активна форма. Този тип добавки взаимодействат с продуктите на хидратация на портландцимента и формират допълнителни количества калциеви хидросиликати и хидроалуминати. Цитираното взаимодействие е познато под името пуцоланова реакция. При наличие на калциев оксид над определена граница, този тип минерални добавки може да се втвърдява самостоятелно.

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

БДС EN 197-5, Смесен Портландцимент CEM II/C-M и смесен цимент CEM VI:

Основни типове	Означение на продуктите (типове цимент)		Състав (процент по маса ^{a)}										
			Основни компоненти										Допълнителни компоненти
			Клинкер	Доменна шлака	Микросилициев прах	Пуцолани		Летяща пепел		Печени шисти	Варовик		
	естествени	естествени калцинирани				силициева	варосъдържаща						
	Наименование на типа	Означение на типа	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c	
CEM II	Смесен Портландцимент ^d	CEM II/ C-M	50-64	← 36-50 →									0-5
CEM VI	Смесен цимент	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5

^a Стойностите в таблицата се отнасят за сумата от основни и допълнителни компоненти.

^b В случай на използване на микросилициев прах частта на микросилициевия прах е ограничена до 6-10 % по маса.

^c В случай на използване на варовик, частта на варовика (сума от L и LL) е ограничена до 6-20 % по маса.

^d броят на основните компоненти без клинкера е ограничен до два и тези основни компоненти трябва да се декларират с означението на цимента (пример виж в точка 6).

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Цимент с рециклирани бетонни частици:

Основни типове	Означение на продуктите (типове цимент)		Състав (процент по маса) а												Второстепенни допълнителни компоненти
			Основни компоненти												
			Клинкер	Рециклиран и бетонни частици	Доменн а шлака	Микро- силициев прах	Пуцолани		Летяща пепел		Печен и шисти	Варовик			
	естествени	естествени калциниран и					силициев а	варо- съдържащ а							
	Наимено- вание на типа	Означение на типа	K	F	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c		
CEM II	Портланд- цимент с рецикли- рани частици	CEM II/A-F	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM II/B-F	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
	Смесен портланд- цимент ^d	CEM II/A-M	80-88	6-14	◀ 6-14 ▶									0-5	
		CEM II/B-M	65-79	6-29	◀ 6-29 ▶									0-5	
		CEM II/C-M	50-64	6-20	◀ 16-44 ▶									0-5	
CEM VI	Смесен цимент	CEM VI	35-49	6-20	31-59	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	

^a Стойностите в таблицата се отнасят за сумата от основни и второстепенни допълнителни компоненти.

^b В случай на използване на микросилициев прах, частта на микросилициевия прах е ограничена до 6-10 % по маса.

^c В случай на използване на варовик, частта на варовика и рециклирани бетонни частици (сума от L, LL и F) е ограничена до 35 % по маса.

^d Броят на основните компоненти без клинкера е ограничен до два и тези основни компоненти трябва да се декларират с означението на цимента (пример виж в точка 6). В случай на използване и на двете – F и (L или LL) в състава, броят на основните компоненти без клинкера е ограничен до три и тези основни компоненти трябва да се декларират с означението на цимента.

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Смесен портландцимент СЕМ II/C-M

Съдържание на клинкер – 50 – 64%

Съдържание на основни компоненти (минерални добавки):

- Доменна шлака (S) – тип II
- **Микросилициев прах (D) – тип II**
- Естествени пуцолани (P) – тип II
- Естествени калцинирани пуцолани (Q) – тип II
- Силициева летяща пепел (V) – тип II
- **Варосъдържаща летяща пепел (W) – тип II**
- **Печени шисти (T) – тип II**
- Варовик (L, LL) – тип I

Смесен цимент СЕМ VI

Съдържание на клинкер – 35 - 49%

Съдържание на основни компоненти (минерални
добавки):

- **Доменна шлака (S) – 31 – 59 % - присъства като основен компонент при всички подтипове**
- Естествени пуцолани (P) – 6 - 20%
- Силициева летяща пепел (V) – 6 - 20%
- Варовик (L, LL) – 6 - 20%

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



Троична диаграма за химичния състав на минералните добавки

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

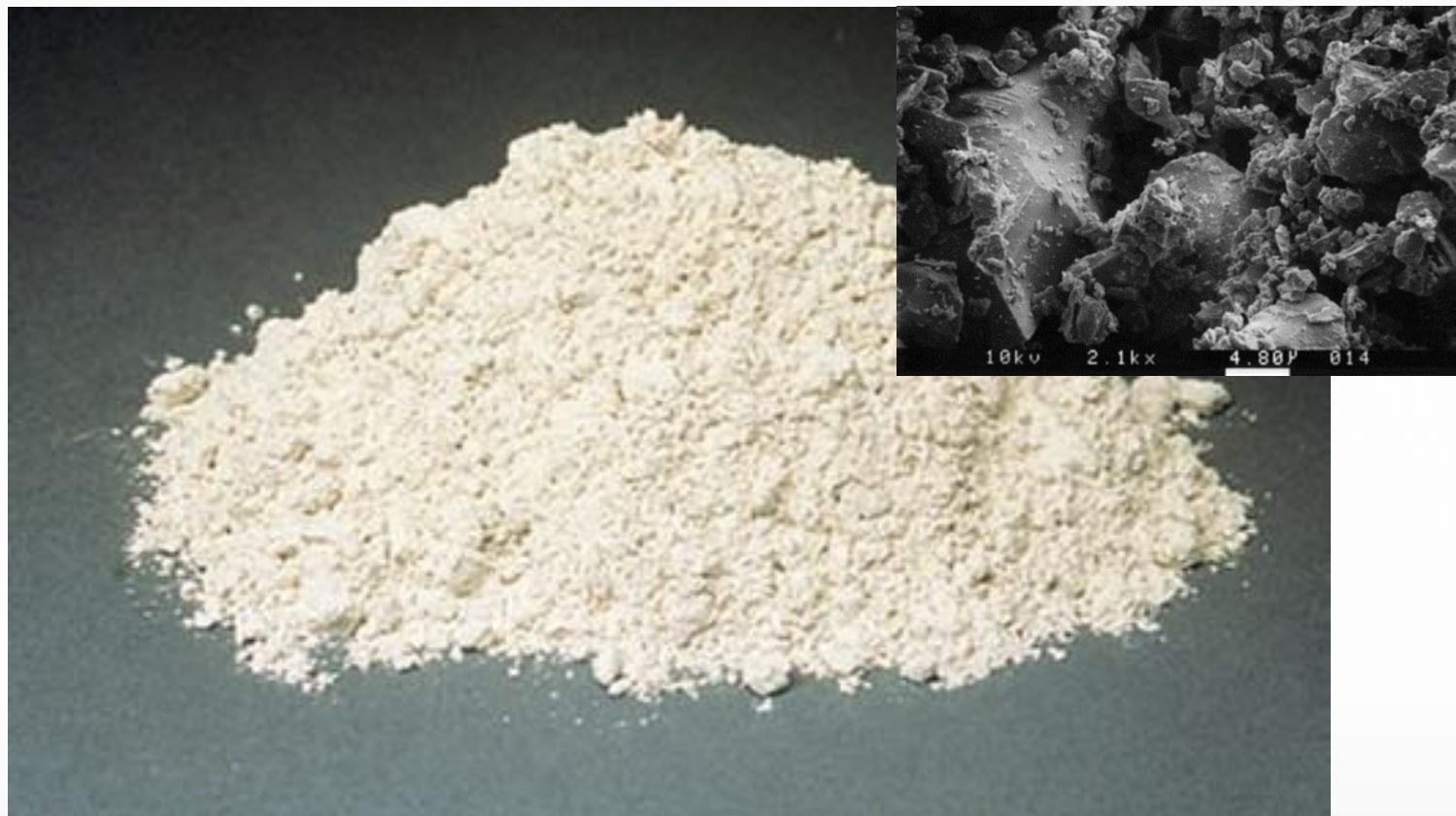
Гранулирана доменна шлака

Доменната шлака е отпаден продукт от производството на чугун и стомана, по химичен състав тя се доближава до портландцимента – количеството на CaO , SiO_2 и Al_2O_3 в състава на шлаката е около 95%. Шлаквата изтича от доменните пещи във вид на разтопена минерална маса, тя се подлага на бързо охлаждане(гранулация), при което придобива аморфна структура. При фино смилане, шлаката придобива свойства на свързващо вещество – смесена с вода, бавно свързва и втвърдява. Химичния ѝ състав се характеризира с два модула – модул на основност (M_o) и модул на активност(M_a):

$$M_o = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}, M_a = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$$

При $M_o > 1$ шлаките са алкални, а при $M_o < 1$ – кисели. С нарастване на модула на основност на шлаките нараства и хидравличната им активност, а с повишаване на модула на активност се ускорява втвърдяването им.

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



Смляна гранулирана доменна шлака Източник: Design and control of concrete mixtures

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Хидратация

Втвърдяването на шлаковия и шлакопортландцимента може да се раздели на два етапа – хидратация на клинкерните минерали и химично взаимодействие на продуктите на хидратация с доменната шлака. Получената при хидратацията на алита и белита гасена вар действа активиращо на доменната шлака. Та взаимодейства със силициевия и/или алуминиевия оксид от шлаката и формира калциеви хидросиликати и хидроалуминати. В сравнение с изходния портландцимент, шлаковите цименти се характеризират с по-бавно нарастване на якостта в началните срокове на втвърдяване, но на 28-дневна възраст, якостта им е приблизително еднаква с тази на портландцимента. Шлаковите, както и пуцолановите цименти са по-чувствителни към температурни промени. С понижаване на температурата, темпа на нарастване на якостта силно се забавя.

**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

**Изисквания към химичния състав на шлаките, съгласно БДС EN
197-1:2011**

Характеристика	Изисквания
$\frac{CaO + MgO}{SiO_2}$	> 1
Магнезиев оксид	$\leq 18 \%$
Сулфид	$\leq 2,0 \%$
Сульфат	$\leq 2,5 \%$
Загуба при налягане, коригирана от окисляването на сулфидите	$\leq 3,0 \%$
Хлориди	$\leq 0,10 \%$
Съдържание на влага	$\leq 1,0 \%$
Специфична повърхнина	$> 275 \text{ m}^2/\text{kg}$

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Естествени пуцолани

Активните минерални добавки са природни вещества, които съдържат аморфен силициев (над 25 %, съгласно БДС EN 197-1) и/или алуминиев оксид. Смесени с въздушна вар, те й придават хидравлични свойства, а добавени към портландцимента – увеличават неговата водоустойчивост. Прието е, активните минерални добавки с естествен произход да се наричат с обобщаващото наименование пуцолани (pozzolana). Пуцолановият цимент (СЕМ IV) и пуцолановият портландцимент (СЕМ II/P) са хидравлични свързващи вещества, получени чрез съвместно фино смилане на клинкер, гипс и активна минерална добавка (тип II). Колкото по-активна е добавката, толкова по-голямо количество калциев хидроксид може да свърже. Водопотребността на пуцолановите цименти е по-висока от тази на чистия портландцимент, особено когато се използват добавки със седиментен произход. Поради тази причина, бетонните смеси се получават с по-голямо количество вода, което налага и по-висока дозировка на цимента, за да не се намали якостта на бетона. Времената на свързване и ситността на пуцолановия цимент е както на обикновения портландцимент, но нарастването на якостта в началните срокове на втвърдяване е по-бавно в сравнение с изходния цимент.

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Хидратация

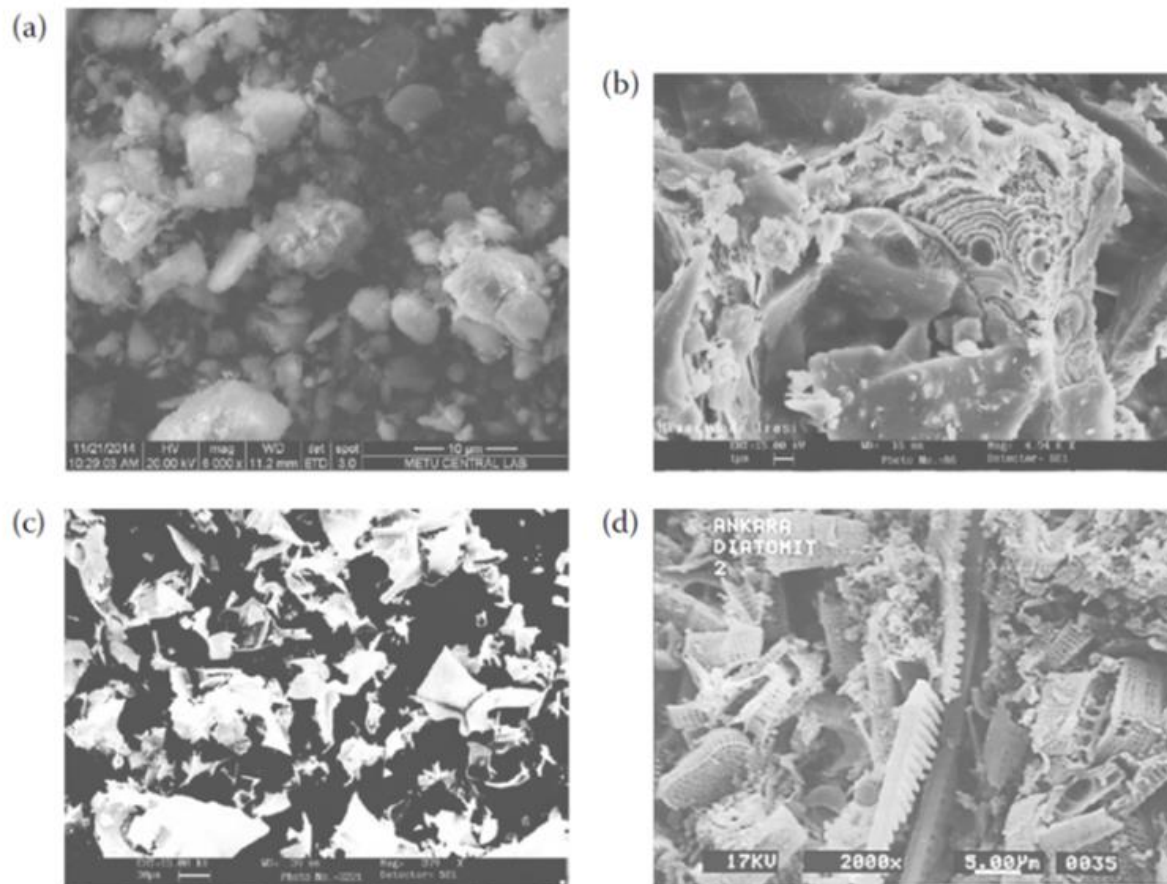
При втвърдяването на пуцолановия цимент протичат два процеса – хидратация на минералите на портландциментовия клинкер и взаимодействие на активната минерална добавка с варта, отделена при хидратацията на алита и белита, при което се получават неразтворими калциеви хидросиликати.



В резултат на посочената реакция пуцолановия цимент става по-водоустойчив от обикновения.

При втвърдяване, пуцолановия цимент отделя по-малко топлина, което позволява употребата му в масивни конструктивни елементи. Увеличената водоустойчивост и водонепропускливост на пуцолановия цимент се обяснява с увеличение на обема на добавките, при контакт с вода. Той е подходящ за изпълнение на конструкции, които са в контакт с вода или се намират постоянно под вода, включително при меки води.

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



a – вулканична пепел, b – трас, c – естествен перлит, d- диатомит
Източник М. TOKYAY, CEMENT and CONCRETE MINERAL
ADMIXTURES, ISBN 978-1-4987-1655-0

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Изкуствени пуцолани (калцинирана глина)

Калцинираните глинни могат да се използват като съставен материал в бетона съгласно ASTM C 618 (2012) и в цименти CEM II, CEM IV и CEM V съгласно EN 197-1 (2012). Настоящата им употреба обаче не е висока поради значителната конкуренция от страна на останалите минерални добавки.

Глинестите минерали са основно хидратирани алуминиеви силикати със слоеста листовидна или пръчковидна структура и много малък размер на частиците ($< 2 \mu\text{m}$). Водата, присъстваща в глините, може да бъде адсорбирана, междуслоеста или химично свързана. Различните видове глинни могат да съдържат значителни количества магнезий, алкали и железен оксид. Типичните химични състави на различни глинести минерали са дадени в таблицата по-долу.

Глинест минерал	Химична формула	Състав по маса, %						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O+K ₂ O	H ₂ O
Каолинит	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	46	40	-	-	-	-	14
Илит	K _{0.6} (H ₃ O) _{0.4} Al _{1.3} Mg _{0.3} Fe _{0.1} Si _{3.5} O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O)	54	17	2	3	1	7	12
Монтморилонит	Na _{0.2} Ca _{0.1} Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) ₁₀	43	19	-	-	1	2	35

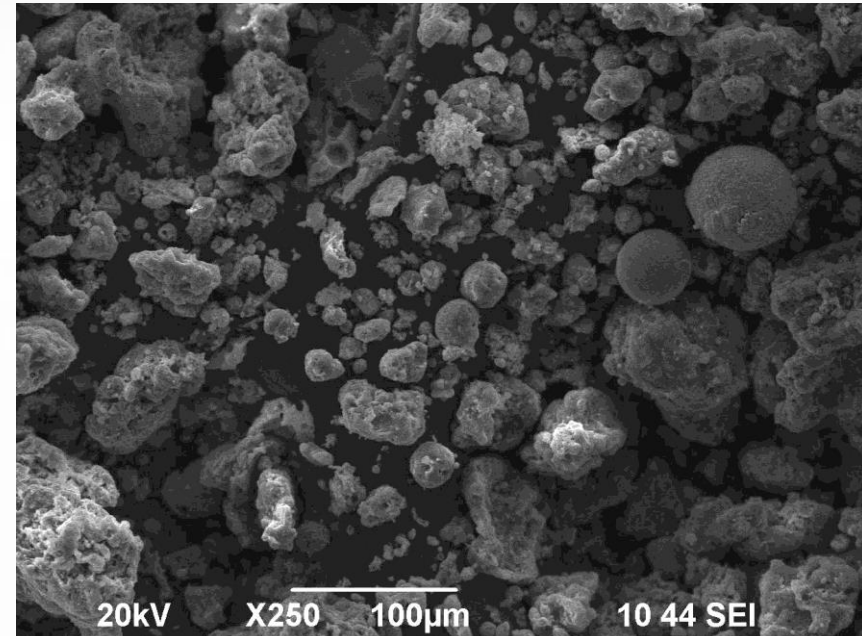
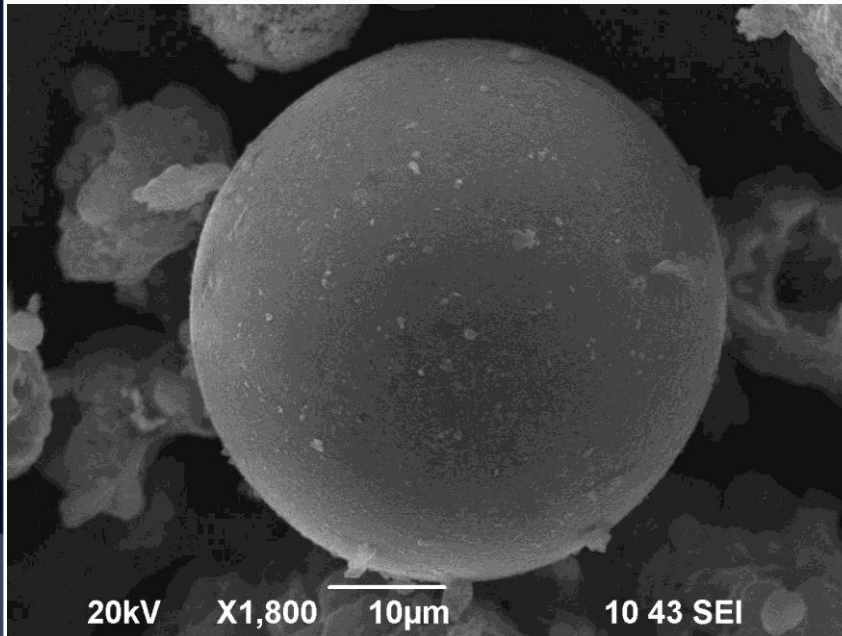
„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Глините не са пуцоланови материали. Когато обаче се калцинират при контролирани условия, те се свиват и се трансформират в квазиаморфен материал, който реагира с вар. Изпичането на глината премахва адсорбираната, междуслоестата и химично свързаната вода, една след друга, с повишаване на температурата. Влиянието на температурата върху структурата на глината обикновено се наблюдава чрез диференциален термичен анализ (DTA). Ендотермичният пик, получен малко над 600°C , показва отстраняване на свързаната вода, което показва, че глината се е превърнала в аморфен материал. Екзотермичният пик при температури близки до 1000°C , от друга страна, показва рекристализация.

Пуцолановата активност на калцинираната глина зависи от нейния квазиаморфен характер, който се получава при оптимална температура. Оптималната температура на калциниране е различна за различните глинни. Под и над тази температура глината не е достатъчно активна. Времето, през което глината се държи при оптималната температура, е важен параметър, влияещ върху пуцолановата активност на калцинираните глинни т.е. съществува оптимален период на калциниране и за различните глинни. Както оптималната температура, така и времето за калциниране се определят експериментално.

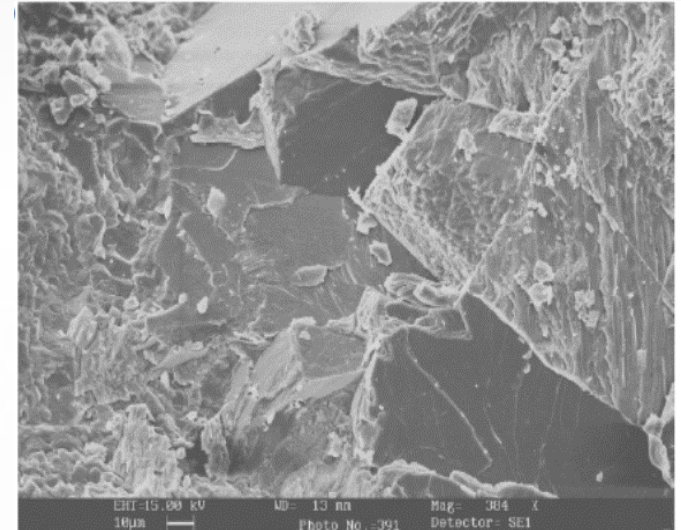
„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Силициева летяща пепел



Състои се от предимно сферични частици, които притежават пуцоланови свойства. Съдържа основно реактивоспособен силициев диоксид (SiO_2) и алуминиев оксид (Al_2O_3). Остатъкът съдържа железен оксид (Fe_2O_3) и други съединения. Количеството на реактивоспособния калциев оксид (CaO) трябва да бъде по-малко от 10,0 % по маса, съдържанието на свободен калциев оксид не трябва да бъде повече от 1,0 % по маса.

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



***Смлян варовик, снимка М. TOKYAY, „CEMENT and CONCRETE
MINERAL ADMIXTURES“, ISBN 978-1-4987-1655-0***

**Съдържание на калциев карбонат (CaCO_3), изчислено от
съдържанието на калциевия оксид - най-малко 75 % по маса (БДС
EN197-1).**

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Влияние на минералните добавки върху свойствата на бетонна смес

	Летяща пепел		Шлака	Микро силициев прах	Естествени калцинирани пуцолани		
	V	W			Печени шисти	Печени глини	Мета-каолин
Водопотребност	↓	↓	↓	↑	↔	↔	↑
Обработваемост	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓
Водоотделяне Разслояване	↓	↓	↕	↓	↔	↔	↓
Времесвързване	↑	↕	↑	↔	↔	↔	↔
Съдържание на въздух	↓	↓	↔	↓	↔	↔	↓
Топлоотделяне	↓	↕	↓	↔	↓	↓	↔

Легенда:
 ↓ Намалява
 ↑ Увеличава
 ↕ Възможно е да намалява или да увеличава
 ↔ Без влияние

Източник: Design and control of concrete mixtures

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

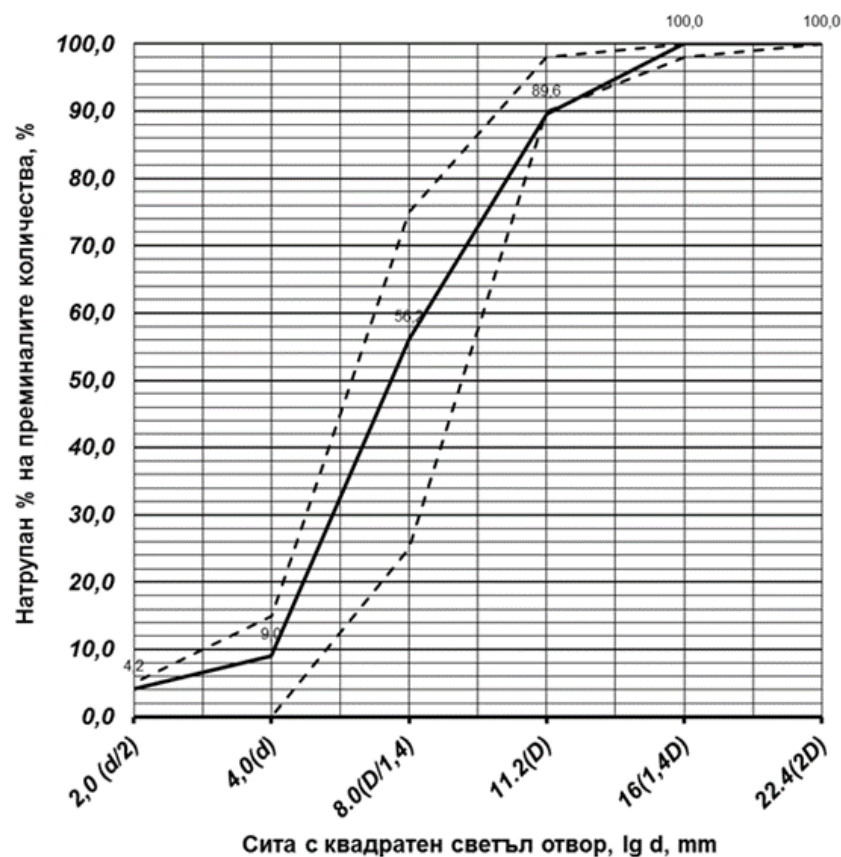
Влияние на минералните добавки върху свойствата на втвърдения бетон

	Летяща пепел		Шлаков цимент	Микро силициев прах	Калцинирани естествени пуцолани		
	V	W			Печени шисти	Печена глина	Мета- каолин
Якост на натиск на ранна възраст	↓	↔	↕	↑	↓	↓	↑
Якост на натиск на късна възраст	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Устойчивост на изтриване	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Влажностно съсъх- ване и пълзене	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Проницаемост и абсорбция	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Корозионна устойчивост	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Алкало-силициева активност	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Устойчивост на сулфати	↑	↕	↑	↑	↑	↑	↑
Мразо- устойчивост	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Устойчивост на антиобледенители	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
Легенда: ↓ Намалява ↑ Нараства ↕ Може да намалее или да нарасне ↔ Без влияние ↕ Може да намалее или няма влияние							

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Едър добавъчен материал

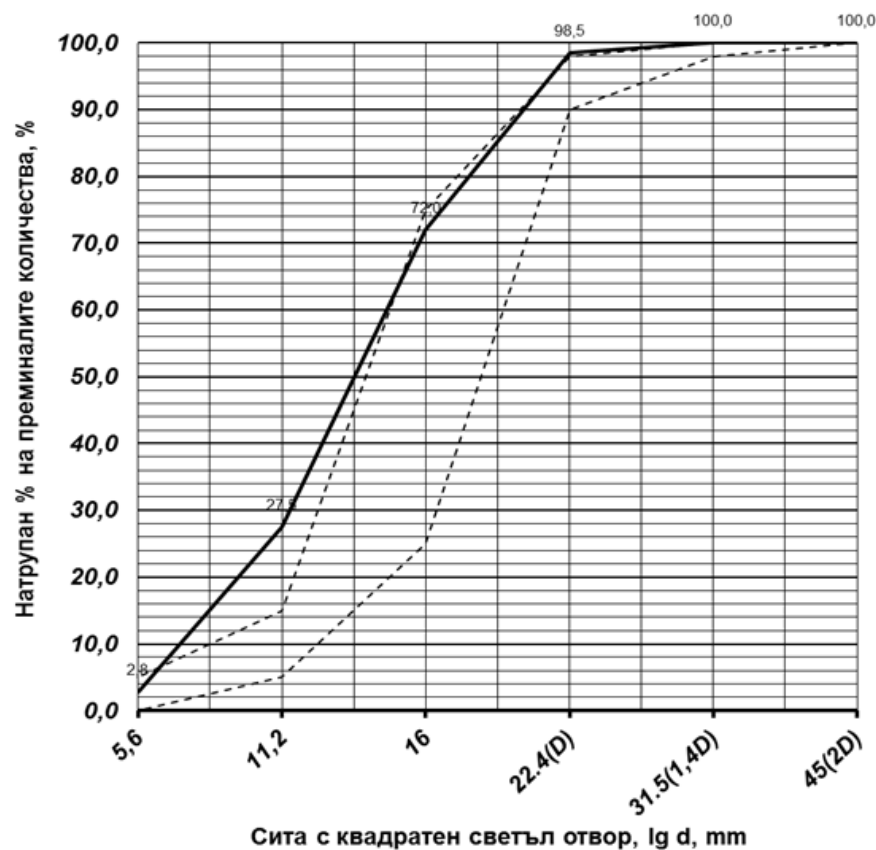
*Естествен трошен камък, фракция 4/11,2 mm, от находище
с. Студена, скална порода – доломитизиран варовик*



„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Едър добавъчен материал

*Естествен трошен камък, фракция 11,2/22,4 mm, от находище
с. Студена, скална порода – доломитизиран варовик*



**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

Едър добавъчен материал

Плътност на зърната и абсорбция на вода

<i>Специфична плътност на зърната, Mg/m³</i>	2,844
<i>Обемна плътност на зърната в сухо състояние, Mg/m³</i>	2,821
<i>Обемна плътност на зърната във водонаситено повърхностно сухо състояние, Mg/m³</i>	2,829
<i>Абсорбция на вода, %</i>	0,28

фракция 4/11,2 mm

<i>Специфична плътност на зърната, Mg/m³</i>	2,844
<i>Обемна плътност на зърната в сухо състояние, Mg/m³</i>	2,823
<i>Обемна плътност на зърната във водонаситено повърхностно сухо състояние, Mg/m³</i>	2,828
<i>Абсорбция на вода, %</i>	0,20

фракция 11,2/22,4 mm

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Едър добавъчен материал

Съпротивление на дробимост

- Фракция 4/8mm - 20
- Фракция 8/11,2mm - 19
- Фракция 11,2/16 mm - 21

Устойчивост на дробимост, при статично натоварване

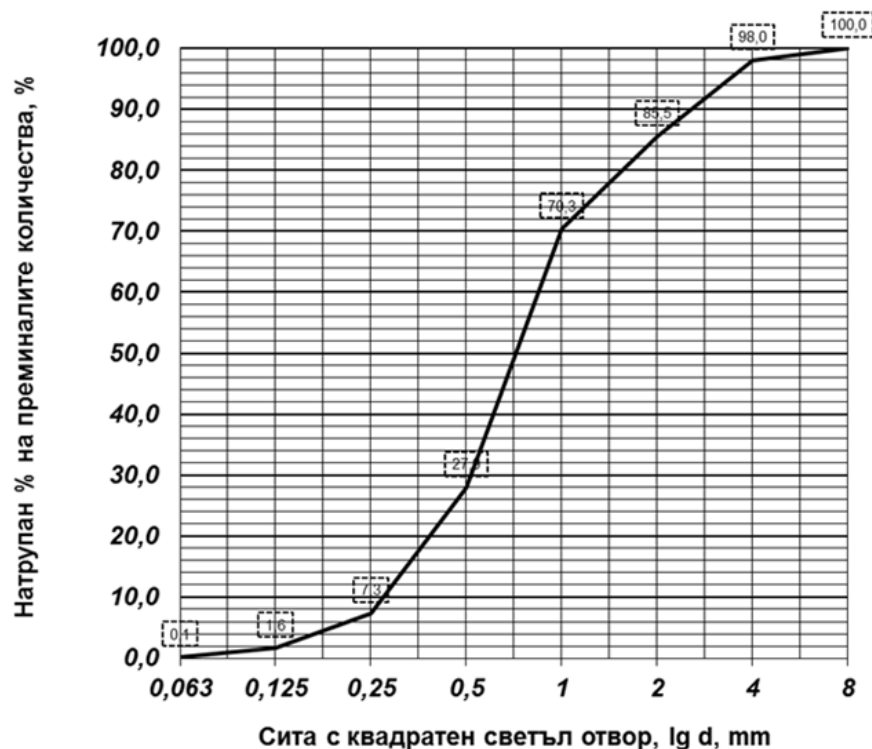
- За фракция 4/8 mm – 6,7 %
- За фракция 8/16 mm – 7,3 %;
- За фракция 16/31,5 mm – 7,6 %.

Плътност в свободно насипно състояние

- За фракция 4/11,2 mm - 1,495 Mg/m³;
- За фракция 11,2/22,4 mm - 1,470 Mg/m³

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Пясък



<i>Естествен речен пясък 0/4 mm от кариера Чепинци</i>	
<i>Специфична плътност на зърната, Mg/m³</i>	<i>2,622</i>
<i>Обемна плътност на зърната в сухо състояние, Mg/m³</i>	<i>2,569</i>
<i>Обемна плътност на зърната във водонаситено повърхностно сухо състояние, Mg/m³</i>	<i>2,589</i>
<i>Абсорбция на вода, %</i>	<i>0,80</i>

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Оптимално отношение на смесване на добавъчните материали

Fuller u Thompson

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5}$$

Bolomey

$$P_i = f + (1-f) \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Andreasen u Andersen

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^q$$

Модифициран модел на Andreasen u Andersen

$$P(D) = \frac{D^q - D_{min}^q}{D_{max}^q - D_{min}^q}$$

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Цимент

- Смесен цимент CEM VI/S-LL, със съдържание на клинкер между 35 и 49 %, гранулирана доменна шлака, в количество между 31 и 59 % и смлян варовик, в количество между 6 и 20 %;
- Смесен портландцимент CEM II/C-M (V-LL), със съдържание на клинкер между 50 и 64 %, силициева летяща пепел и смлян варовик, с общо количество между 36 и 50 %;
- Смесен портландцимент CEM II/C-M (S-LL), със съдържание на клинкер между 50 и 64 %, смляна гранулирана доменна шлака и смлян варовик, с общо количество между 36 и 50 %;
- Смесен портландцимент CEM II/C-M (P-LL), със съдържание на клинкер между 50 и 64 %, естествени пуцоланови материали и смлян варовик, с общо количество между 36 и 50 %;
- Смесен портландцимент CEM II/C-M(Q-LL), със съдържание на клинкер между 50 и 64 %, изкуствени пуцоланови материали (калцинирана глина) и смлян варовик, с общо количество между 36 и 50 %;

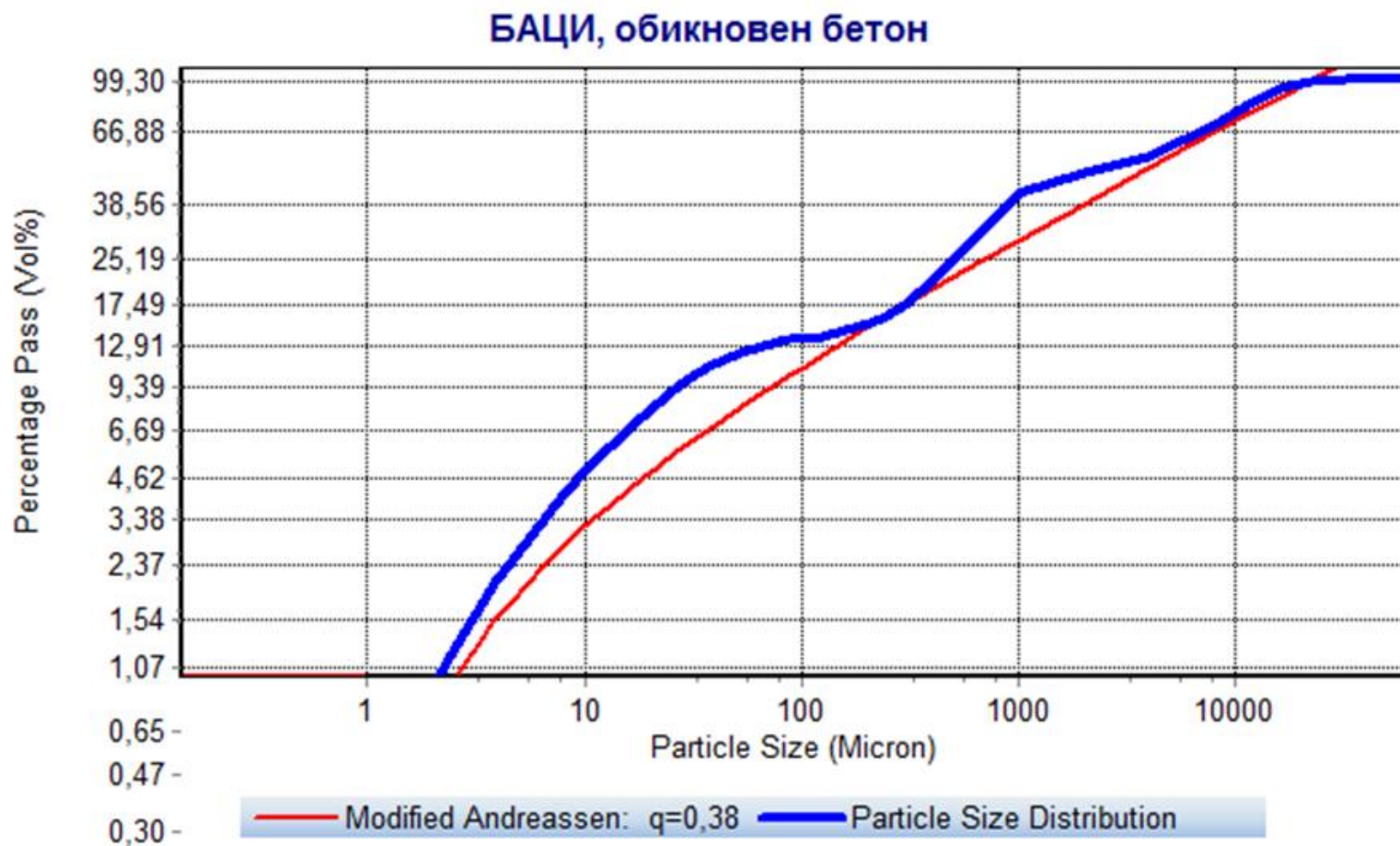
**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

Бетон - състав

Съставен материал	Маса, kg	Плътност, kg/dm ³	Обем, L
Цимент	325	2,90	112,1
Пясък речен 0/4 mm	830	2,62	316,8
Трошен камък 4/11,2 mm	450	2,84	158,5
Трошен камък 11,2/22,4 mm	600	2,84	211,3
Вода	185	1,00	185,0
Добавка Поликарбоксилат (PCE)	2,5	1,05	2,4
Въздух			15,0
Плътност на бетонната смес, kg/m ³	2392,5	Общо, L	1001,0

Състав на бетон, с обикновена якост

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



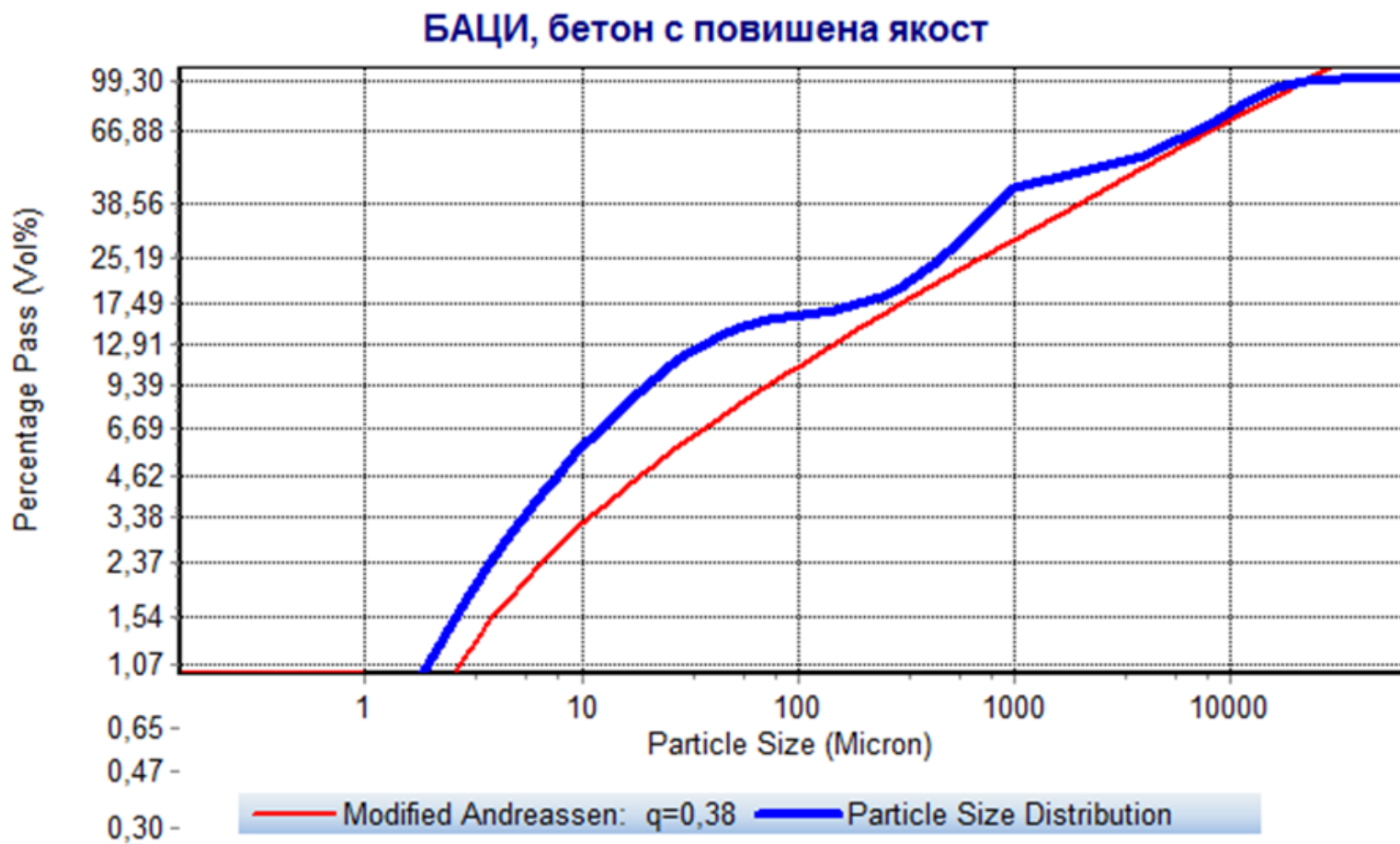
**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

Бетон - състав

Съставен материал	Маса, kg	Плътност, kg/dm ³	Обем, L
Цимент	400	2,90	137,9
Пясък речен 0/4 mm	780	2,62	297,7
Трошен камък 4/11,2 mm	445	2,84	156,7
Трошен камък 11,2/22,4 mm	580	2,84	204,2
Вода	187	1,00	187,0
Добавка Поликарбоксилат (PCE)	2,5	1,05	2,4
Въздух			15,0
Плътност на бетонната смес, kg/m ³	2394,5	Общо, L	1000,9

Състав на бетон с повишена якост

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Методи за изпитване на бетонната смес:

БДС EN 12350-2:2019 Изпитване на бетонна смес. Част 2: Изпитване на слягане;

БДС EN 12350-7:2019 Изпитване на бетонна смес. Част 7: Определяне на съдържанието на въздух. Методи с налягане.

Методи за изпитване на втвърден бетон

БДС EN 12390-3:2019 Изпитване на втвърден бетон. Част 3: Якост на натиск на пробни тела;

БДС EN 206:2013+A2:2021/NA:2021 Бетон. Спецификация, свойства, производство и съответствие. Национално приложение (NA)

Приложение NA.N

Приложение NA.O.2

БДС EN 12390-13:2021 Изпитване на втвърден бетон. Част 13: Определяне на секантен модул на еластичност при натиск

**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

Консистенция на бетонна смес – метод на слягане – БДС EN 12350-2



**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

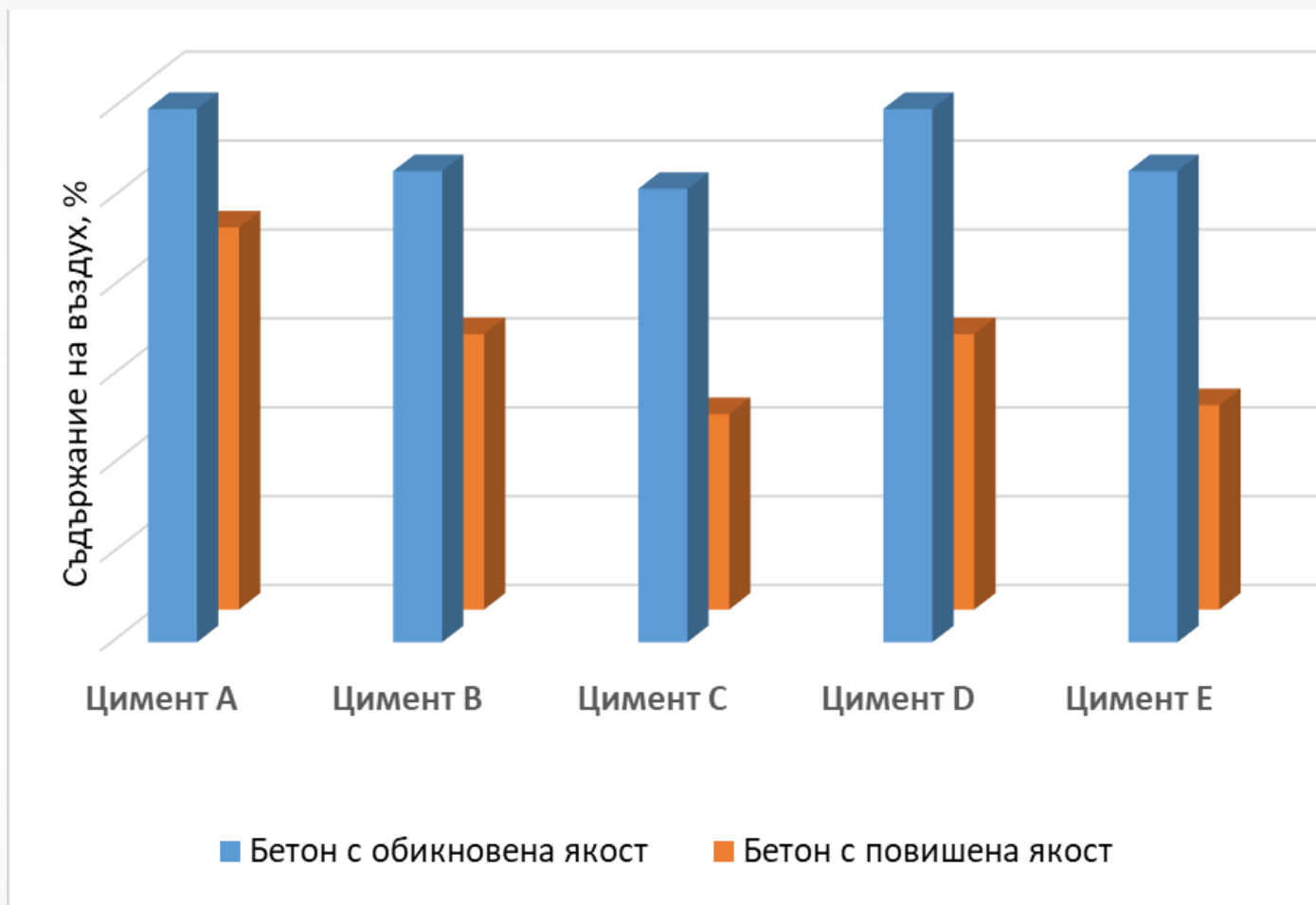
**Съдържание на въздух в бетонна смес – компресионен метод (с
воден стълб) – БДС EN 12350-7**



**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

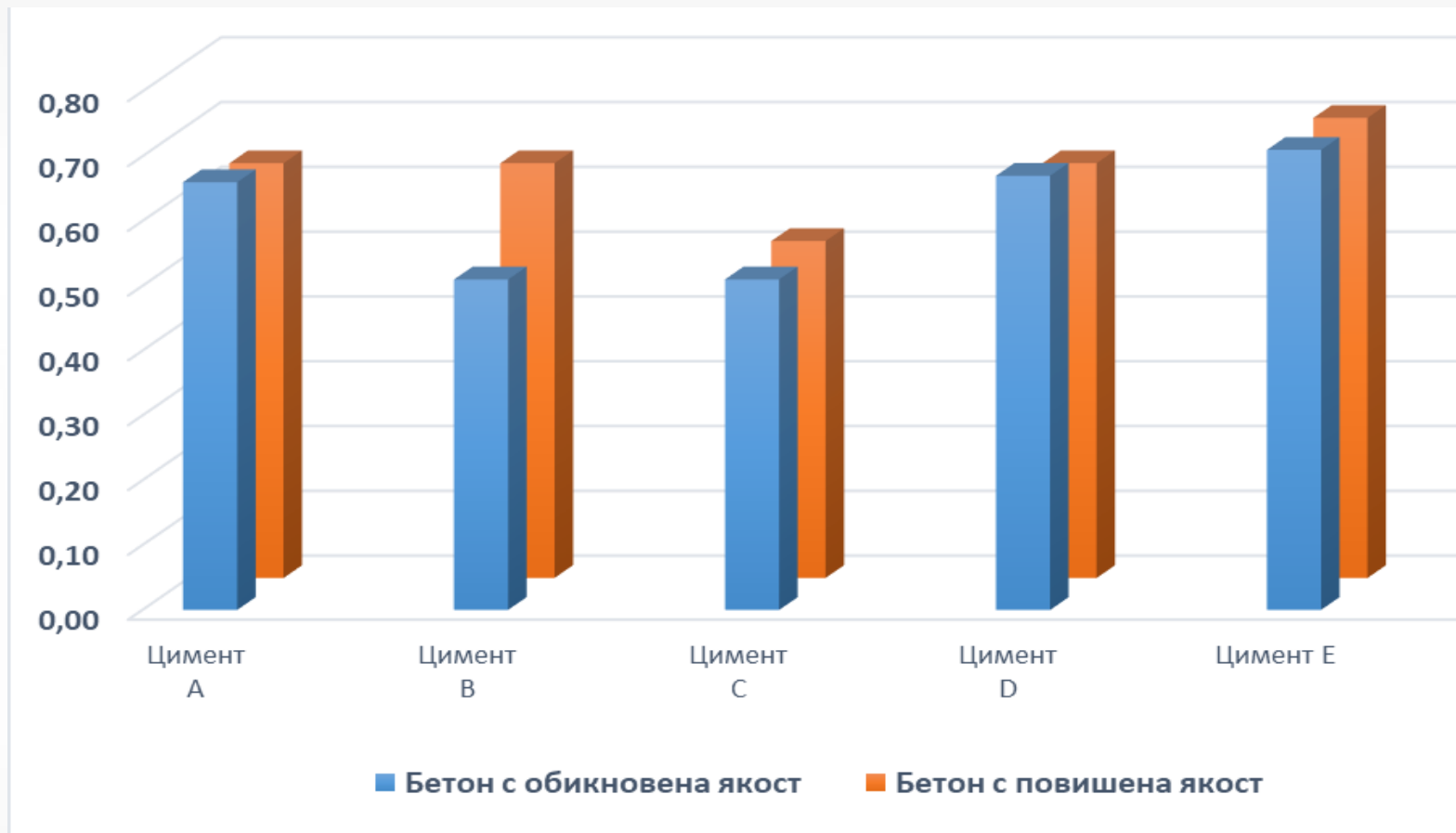
Цимент:		Цимент А CEM VI/S-LL	Цимент В CEM II/C-M (V-LL)	Цимент С CEM II/C-M (S-LL)	Цимент D CEM II/C-M (P-LL)	Цимент Е CEM II/C-M (Q-LL)
Слягане, mm	Бетон с обикновена якост	179	181	191	171	171
	Бетон с повишена якост	162	173	201	173	181
Съдържание на въздух, % по обем	Бетон с обикновена якост	6,0	5,3	5,1	6,0	5,3
	Бетон с повишена якост	4,3	3,1	2,2	3,1	2,3
Химична добавка, %	Бетон с обикновена якост	0,66	0,51	0,51	0,67	0,71
	Бетон с повишена якост	0,64	0,64	0,52	0,64	0,71

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



Съдържание на въздух в бетонните смеси

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“



Дозировка на химична добавка в бетонните смеси

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Изводи:

- При всички изпитани бетонни смеси се получава измеримо слягане на бетонната смес, без видими следи от водоотделяне и разслояване на сместа, като при всички случаи слягането попада в клас S4, съгласно БДС EN 206:2012+A2:2021;
- При всички изследвани цименти се наблюдава намаляване на количеството на въздуха при смесите, предназначени за бетони с повишена якост, в сравнения, с тези – за обикновена якост;
- Като цяло водопотребността на циментите надвишава прогнозите, които са заложили в първоначалните състави на бетона т.е. дозировката в по-висока.

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Якост на натиск:

Цимент:		Цимент А CEM VI/S-LL	Цимент В CEM II/C-M (V-LL)	Цимент С CEM II/C-M (S-LL)	Цимент D CEM II/C-M (P-LL)	Цимент Е CEM II/C-M(Q-LL)
Якост на натиск						
7 ден	Бетон с обикновена якост	18,6	20,8	19,9	25,3	26,5
	Бетон с повишена якост	26,7	32,0	27,1	35,3	42,6
28 ден /нарастване спрямо 7 ден, %	Бетон с обикновена якост	$\frac{29,4}{+58,2}$	$\frac{28,7}{+36,7}$	$\frac{28,6}{+43,5}$	$\frac{32,1}{+26,9}$	$\frac{38,6}{+45,7}$
	Бетон с повишена якост	$\frac{38,7}{+44,9}$	$\frac{42,0}{+31,0}$	$\frac{36,2}{+33,7}$	$\frac{43,1}{+22,1}$	$\frac{52,7}{+23,7}$
90 ден /нарастване спрямо 28 ден, %	Бетон с обикновена якост	$\frac{34,1}{+15,9}$	$\frac{36,0}{+25,7}$	$\frac{31,4}{+9,8}$	$\frac{33,5}{+4,5}$	$\frac{44,4}{+15,0}$
	Бетон с повишена якост	$\frac{45,1}{+16,4}$	$\frac{49,4}{+17,6}$	$\frac{43,1}{+19,2}$	$\frac{47,9}{+11,3}$	$\frac{61,7}{+17,1}$

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Изводи:

- Всички изследвани цименти се характеризират със значително нарастване на якостта на натиск на възраст по-късна от 7 денонощия. Най-голямо е изменението при цимент А, между 7 и 28-ден, а при цимент В – между 28 – 90-ден;
- Най-ниска якост, като цяло, показват цименти А и С, а най-висока - цимент Е;

**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

Водонепропускливост

Цимент: Водонепропускли- вост	Цимент А СЕМ VI/S- LL	Цимент В СЕМ II/C- М (V-LL)	Цимент С СЕМ II/C- М (S-LL)	Цимент D СЕМ II/C- М (P-LL)	Цимент Е СЕМ II/C- М(Q-LL)
Бетон с обикновена якост	Клас C_w0.8	Клас C_w0.8	Клас C_w0.8	Клас C_w0.8	Клас C_w0.8
Бетон с повишена якост	Клас C_w1,0	Клас C_w1,0	Клас C_w1,0	Клас C_w1,0	Клас C_w1,0

Водонепропускливост на бетоните от експерименталната програма

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Мразоустойчивост по ускорен метод

Цимент:	Цимент А	Цимент В	Цимент С	Цимент D	Цимент Е
Мразоустойчивост	CEM VI/S-LL	CEM II/C-M (V-LL)	CEM II/C-M (S-LL)	CEM II/C-M (P-LL)	CEM II/C-M (Q-LL)
Бетон с обикновена якост	Клас $C_{fr}100$	Клас $C_{fr}100$	Клас $C_{fr}150$	Клас $C_{fr}100$	Клас $C_{fr}100$
Бетон с повишена якост	Клас $C_{fr}150$	Клас $C_{fr}200$	Клас $C_{fr}150$	Клас $C_{fr}150$	Клас $C_{fr}200$

Мразоустойчивост на бетоните от експерименталната програма

**„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С
НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“**

Модул на еластичност при натиск

Модул на еластичност при натиск, GPa	Цимент:				
	Цимент А CEM VI/S-LL	Цимент В CEM II/C-M (V-LL)	Цимент С CEM II/C-M (S-LL)	Цимент D CEM II/C-M (P-LL)	Цимент Е CEM II/C-M (Q-LL)
Бетон с обикновена якост – 28 дни	22,7	24,5	26,0	26,2	25,7
Бетон с повишена якост – 28 дни	27,5	27,1	28,0	26,9	31,4
Бетон с обикновена якост – 90 дни	23,8	32,3	29,6	27,9	26,3
Бетон с повишена якост – 90 дни	28,9	30,5	31,5	29,9	30,7

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Дълбочина на карбонизация



Карбонизация на разтвор от експерименталната програма

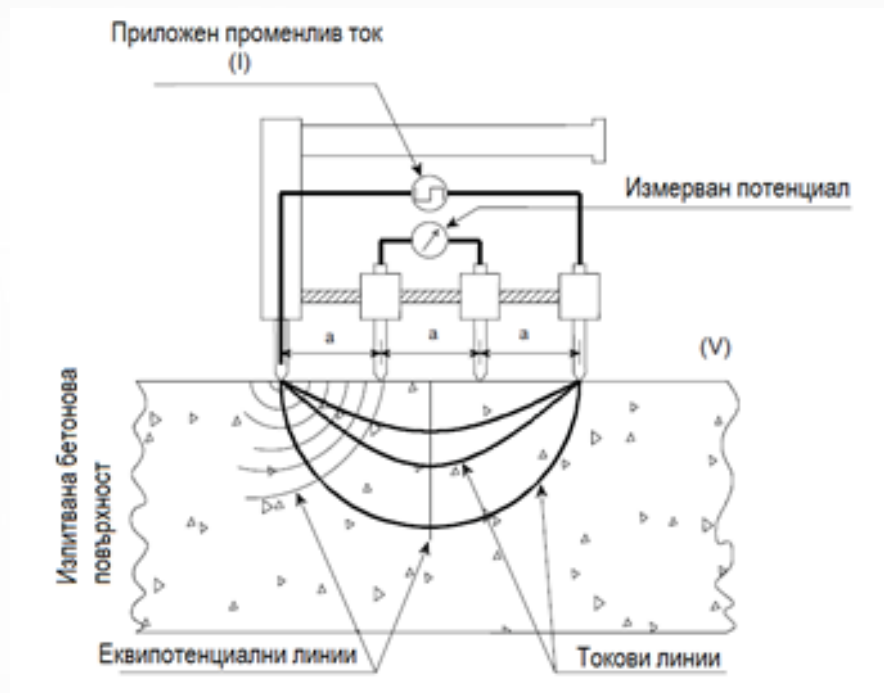
„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Дълбочина на карбонизация

Цимент: Дълбочина на карбонизация	Цимент А CEM VI/S- LL	Цимент В CEM II/C-M (V-LL)	Цимент С CEM II/C-M (S-LL)	Цимент D CEM II/C-M (P-LL)	Цимент Е CEM II/C- M(Q-LL)
Цименто-пясъчен разтвор с водоциментно отношение 0,60	3,8	4,6	5,0	3,6	3,2
Цименто-пясъчен разтвор с водоциментно отношение 0,45	2,1	1,4	2,6	1,0	2,5

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Дифузия на хлорни йони



**Определяне на специфично съпротивление на бетон съгласно
AASHTO T358, идентичен с БДС EN 12390-19, т.8**

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Дифузия на хлорни йони

Дифузия на хлорни йони	Електросъпротивление на повърхността (kΩ - cm)	
	Цилиндър 100x200mm a = 1,5	Цилиндър 150x300mm a = 1,5
Висока	< 12	< 9.5
Умерена	12 - 21	9.5 – 16.5
Ниска	21 - 37	16.5 - 29
Много ниска	37 - 254	29 - 199
Пренебрежима	> 254	> 199

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОГРАМА ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИМЕНТИ С НИСЪК ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК“

Дифузия на хлорни йони

Цимент: Електрическо специфично съпротивление	Цимент А CEM VI/S-LL	Цимент В CEM II/C- М (V-LL)	Цимент С CEM II/C- М (S-LL)	Цимент D CEM II/C- М (P-LL)	Цимент Е CEM II/C- М(Q-LL)
Бетон с обикновена якост	46	33	19	15	16
Бетон с повишена якост	83	35	29	20	19



Въпроси???





**Благодаря за
вниманието!!!**

