

ВИСШЕ СТРОИТЕЛНО УЧИЛИЩЕ "Л. КАРАВЕЛОВ"
СТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ
Катедра „Ниско строителство“

инж. Иванка Димитрова Добрева

ИЗСЛЕДВАНЕ СВОЙСТВАТА И ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА
ПРИЛОЖЕНИЕ НА СЪСТАВИ ЗА НОВИ ЛЕКИ
ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ И БЕТОНИ

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

по професионално направление:

5.7. Архитектура, Строителство и Геодезия

Научна специалност:

„Строителни материали и изделия и технология на производството им“

Научен ръководител:

проф. д.т.н. инж. Теодор Цветанов Рошавелов

София, 2016

инж. Иванка Димитрова Добрева

**ИЗСЛЕДВАНЕ СВОЙСТВАТА И ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ
НА СЪСТАВИ ЗА НОВИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ И БЕТОНИ**

АВТОРЕФЕРАТ

НА

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен „ДОКТОР“

по професионално направление:

5.7. Архитектура, Строителство и Геодезия

Научна специалност:

„Строителни материали и изделия и технология на производството им“

Научен ръководител: проф. д.т.н. инж. Теодор Рошавелов,
ВСУ“Л.Каравелов“

Научно жури: проф. д-р инж. Николай Баровски, БАН
проф. д-р инж. Георги Цветков, НИИСМЕООД
доц. д-р инж. Венцеслав Стоянов, ВСУ“Л.Каравелов“
доц. д-р инж. Богомил Петров, УАСГ

Резервни членове:

доц. д-р инж. Лъчезар Хрисчев, ВСУ“Л.Каравелов“
доц. д-р инж. Валерий Найденов, БАН

Текстът на дисертацията съдържа 192 страници, включително 65 таблици, 22 фигури и 14 графики. Дисертационният труд е оформен в шест глави с общ обем 186 страници и списък на използваната литература от 4 страници. Библиографията включва 83 литературни източника, от които на 8 латиница и 75 на кирилица, в т. ч. 15 стандартизационни документи.

Лабораторните изследвания са проведени в лабораториите на ВСУ“Л.Каравелов“, Катедра “Ниско строителство“, гр. София

Дисертационният труд е насочен за публична защита пред Научно жури, след обсъждане на заседание на разширен катедрен съвет на катедра “Ниско строителство” при Строителен факултет на Висше строително училище “Л. Каравелов”, гр. София, състояло се на 28.07.2016г. с Протокол № 130/ 28.07.2016г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на2016г. от часа в Заседателната зала на Висше строително училище “Л. Каравелов”, гр. София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в Библиотеката на ВСУ “Л. Каравелов” – София

Автор: инж.Иванка Димитрова Добрева

Заглавие: Изследване свойствата и възможностите за приложение на състави за нови леки добавъчни материали и бетони

Тираж: 20 бр.

СЪДЪРЖАНИЕ

Анотация	2
ГЛАВА 1. ОБЗОР И СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА	4
1.1. Въведение	4
1.2. Основни класификации на леки добавъчни материали	5
1.3. Природни леки добавъчни материали	6
1.4. Леки добавъчни материали, получени от отпадъци от промишлени производства	8
1.5. Леки изкуствени добавъчни материали	11
1.6. Леки бетони и продукти на база леки добавъчни материали	16
1.7. Основни изводи и предпоставки за разработване на нови леки добавъчни материали. Цел и задачи на дисертационния труд	19
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА НОВИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ И ПРОДУКТИ	23
2.1. Метод и технология за получаване на експандирани леки материали	23
2.2. Опитна технологична схема	24
2.3. Предимства и недостатъци на методи за експандиране	27
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТВАНЕ НА СЪСТАВИ ЗА ИЗКУСТВЕНИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ	29
3.1. Подбор и характеристики на основните изходни суровини и материали	29
3.2. Определяне на допълнителните компоненти	30
3.3. Определяне на вид на носителя	32
3.4. Други материали, включени в изследванията	32
3.5. Подбор на подходящите суровини и определяне на първоначалните композитни смеси (състави)	33
ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОЛУЧЕНИТЕ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ, РАЗТВОРИ И БЕТОНИ	35
4.1. Леки добавъчни материали от Композитни състави	35
4.2. Разтвори, бетони и продукти на база нови леки добавъчни материали	38
4.3. Изследване и получаване на основен композитен състав за леки добавъчни материали на база на различни условия на експандиране	41
4.4. Разработване и определяне характеристиките на състави за леки бетони на база леки добавъчни материали от основен композитен състав	46
4.4.1. Материали за леки бетони. Изпитвания на основни характеристики	46
4.4.2. Проектиране на състави на леки бетони	47
4.4.3. Състави за леки бетони с керамзит като основен лек добавъчен материал	47
4.4.4. Състави за леки бетони с лек добавъчен материал на база на композитен състав КС-О	48
4.4.5. Определяне физико-механични характеристики на втвърдени леки бетони с леки добавъчни материали	49
4.4.6. Сравнителен анализ на леки бетони, изпълнени с керамзит и нов лек добавъчен материал на база КС-О	49
ГЛАВА 5. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ	52
5.1. Обобщени изводи	52
5.2. Претенции за научно-приложни приноси	53
5.3. Аprobация на дисертацията (публикации по темата)	54
ГЛАВА 6. НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ	55
Литература	56

АНОТАЦИЯ

Целта на дисертационната работа е изследване свойствата на състави за нови леки добавъчни материали по разработен ниско енергиен метод на обработка и експандиране на суровината и възможностите за тяхното приложение в строителството.

В увода на дисертацията е представена общата концепция на изследването, като се посочва актуалността на разглеждания проблем и е определен обекта над който е работено. През последните десетилетия развитието на строителството е пряко свързано с разширяване производството на строителни материали и изделия от нетрадиционни суровини. Наличието на ограничен ресурс от естествени минерални суровини и свързаното с тях екологично равновесие са основни предпоставки при търсенето на нови възможности за производство на строителни продукти.

В Глава 1. е направен обзор на производството и използването на леки добавъчни материали и приложението им в строителни материали. Подробно са описани източниците на добиване на суровините за такива материали. Разгледани са основните представители на разпространените в практиката материали като керамзит, шистопорит, перлит, вермикулит, аглопорит, термолит, азерит, шунгизит, пеностъкло, стъклопорит, стъклопор, силипор, сотосилипор сипор и пенопласти. Описани са методите за производство, характеристиките и приложението им за получаване на леки бетони и изделия. Направени са изводи и предпоставки за разработване на нов вид леки добавъчни материали.

В Глава 2. е представен разработен и патентован метод и технология за получаване на леки добавъчни материали, като е описана технологичната схема за получаване на експандирани леки добавъчни материали.

В Глава 3. са описани разработените композитни състави за изкуствени леки добавъчни материали с включени вторични продукти от различни производства. Направен е подбор и са определени характеристиките на основните изходни суровини и допълнителните компоненти (активни и пасивни носители, както и други материали, включени в изследванията). Направен е подбор на подходящите суровини и определяне на първоначалните композитни смеси (състави) и е изяснена нормативната база за изследване на основни характеристики на продуктите.

В Глава 4. са извършени изпитвания по действащите стандартзационни документи и са определени основни характеристики на получените леки добавъчни материали от разработените първоначално шест композитни състави с влагане на вторични продукти, както и на приготвени от тях разтвори и бетони.

На основа на получени резултати за леки добавъчни материали от различни композитни състави е определен един основен композитен състав (КС-О) от който са произведени леки добавъчни материали по приложен нискоенергиен метод за експандиране до 500°C. Изследвани са и са получени леки добавъчни материали при различни условия на експандиране от основния композитен състав (КС-О).

Разработени са и са определени характеристиките на състави за леки бетони на база леки добавъчни материали от основен композитен състав (КС-О) и е направен сравнителен анализ на леки бетони, изпълнени с керамзит и новия лек добавъчен материал.

В Глава 5. са представени основни изводи и заключения. Поставените цели и задачи в дисертационния теруд са постигнати, като след анализ на резултатите са направени изводи за постигнати характеристики на новите леки добавъчни материали и разработените на тяхна база разтвори и леки бетони.

В Глава 6. са представени бъдещи насоки за продължаване на изследванията на разработените нови леки добавъчни материали по нискотемпературен метод на получаване и приложенията им за строителни цели.

ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1.1. ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на леките добавъчни материали за бетони и разтвори и изделията на тяхна основа в строителната практика са важна насока за развитие на техническия прогрес в областта на строителството. Разширяването на тяхното производство през последните десетилетия се дължи на обстоятелството, че те със своите качествени показатели отговарят на съвременните тенденции в строителството -олекотяване на конструкциите, повишена технологичност и индустриализиране на строителството, намаляване на материалоемкостта и трудоемкостта на строителните елементи и дейности, повишаване на енергийната ефективност на сградите и не на последно място решаване на проблемите с управлението на строителните отпадъци. Тези материали съчетават в себе си качества, чиито сумарен ефект удовлетворява нарасналите потребности на строителството, като го издига на по-високо техническо равнище. Те са се наложили в строителната индустрия на всички развити страни като висококачествени и високоефективни строителни компоненти. Тяхното използване е свързано, както с усъвършенстване на производството, така и с повишаване на ефективността на приложението им в строителството.

Леките добавъчни материали (пълнители) са природни или изкуствени материали с определен зърнометричен състав, които в рационално проектирана смес със свързващо вещество образуват каменоподобен продукт (бетон, разтвор или др.) с определени физико-механични свойства. Себестойността на леките пълнители достига 30÷50 % от общата стойност на бетонните конструкции в които са приложени. Следователно, правилният избор на пълнителите и най-рационалното им производство и приложение имат съществено стопанско значение.

Леките добавъчни материали заемат до 80% от общия обем на леките бетони. Със своята ниска обемна плътност те допринасят за намаляване обемната плътност на бетона, а също и на неговата топлопроводност и позволяват използването на тези бетони за топлоизолационни ограждащи конструкции.

1.2. ОСНОВНИ КЛАСИФИКАЦИИ НА ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

Леките добавъчни материали могат да се класифицират по различни признаци, но като по-важни, ще открием следните:

По обемна плътност:

Най-общо добавъчни материали за бетон с обемна плътност не по-голяма от 1000 kg/m^3 са леки добавъчни материали.

На база минерални суровини у нас и в чужбина се получават редица изкуствени леки добавъчни материали със сходни свойства, като обемната им плътност варира в широки граници [6] (Табл.1.1.)

Таблица 1.1.

Обемни плътности на различни видове ЛДМ (леки добавъчни материали)

№ по ред	Наименование на ЛДМ	Обемна плътност, kg/m^3	
		Едър ЛДМ.	Дребен ЛДМ
1.	Керамзит	255÷750	430÷1200
	Аглопорит	350÷690	570÷1000
	Термозит	475÷905	530÷1130
	Перлит	250÷460	100÷280
2.	Маслит	665÷789	1050
	Материалит	790	1040
	Крестлит	635÷745	950
	Хайдит	555÷640	720
	Гравелит	560÷785	-
	Шалит	605	890
	Нитролит	635÷800	800
3.	Лека глина	300÷350	600÷700
	Детон	500	-
	Тонит 450	450	-
	Перлит	-	35-100
	Липор	300÷400	-
4.	Експандирана глина	410÷450	670
5.	Керамзит	540÷740	650÷750
	Шистопорит	650÷690	-
	Аглопорит	600÷750	-
	Перлит	-	150÷200

Тези материали се използват основно за получаване на леки бетони, които в зависимост от физико-механичните и топлотехническите им характеристики се класифицират като топлоизолационни леки бетони (с обемна плътност не по-голяма от 500 kg/m^3), конструктивно-топлоизолационни (с обемна плътност от $500\div 1400 \text{ kg/m}^3$) и конструктивни (с обемна плътност от $1400\div 1800 \text{ kg/m}^3$). [7,8]

По едрина и вид на зърната:

- Дребен лек добавъчен материал (ДЛДМ)-с диаметър на зърната, $D_{\max} \leq 5$ mm (по актуални изисквания на БДС EN 12620 - $D_{\max} \leq 4$ mm);
- Едър лек добавъчен материал - с диаметър на зърната- $D_{\max} \geq 5$ mm: чакъл - със заоблена форма на зърната и трошен камък - зърна с неправилна форма, който се получава на фракции –5/10, 10/20 и 20/40 mm (по актуални изисквания на БДС EN 12620 - $D_{\max} > 4$ mm и съответни фракции).

По източници на получаване и по методи на производство:

- природни леки добавъчни материали;
- леки добавъчни материали от отпадъци от различни промишлени отрасли;
- изкуствени леки добавъчни материали.

Класификацията на ЛДМ според източниците на получаването им е най-използваната, съществена, поради което ще се спрем по-подробно на нея.

1. 3. ПРИРОДНИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

От различни видове скали се получават леки добавъчни материали, чрез натрошаването им до определена едрина, т.е. получават се пясък и трошен камък с малки обемни плътности, благодарение на порьозната им структура.

Съответно при раздробяването на природните порьозни скали, с увеличаването на плътността на зърната се увеличава и тяхната якост, т.е. якостта на раздробения материал е по-голяма от тази на изходната скала, определена на отделни по-едри образци. Ето защо, строителните норми допускат използването за производство на пълнители на порьозни скали, чиято якост на натиск е до 50% от изискваната за бетона. [9]

Естествените леки добавъчни материали могат да бъдат от вулканичен или седиментен произход.

1.3.1. Видове леки добавъчни материали от вулканични скали

Природните леки добавъчни материали от вулканичен произход представляват останки от вулканична маса и са широко разпространени в земната кора [10,11].

Основни представители на тази група са:

➤ Пемза

Това са скали от вулканичен произход, получени в резултат на изригването и застиването на лава при вулканична дейност. Основната съставна част на пемзата е SiO_2 . По-значително е участието на $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$, а при някои пемзи на Al_2O_3 . Съдържанието на CaO и MgO е намалено при пемзите които

съдържат повишено количество Al_2O_3 .

Пемзата е материал с голяма порьозност, но порите са с малки размери - до 3 mm, с кръгла или продълговата форма. Порьозността на зърната достига до 85%. Обемната насипна плътност на пясъка от пемза варира от 600 kg/m^3 до 1000 kg/m^3 , а на едрата фракция - от 400 kg/m^3 до 900 kg/m^3 . Якостта на натиск на пемзата се увеличава с увеличаване на обемната плътност и достига до $(2,5 \div 4,0) \text{ N/mm}^2$.

Вулканични шлаки

Тези шлаки са образувани от течната магма на основния състав, изхвърлена на повърхността при изригване на вулкан.

Обемната насипна плътност на ситната фракция е $(650 \div 1300) \text{ kg/m}^3$, а на едрата – $(400 \div 850) \text{ kg/m}^3$.

Вулканичните шлаки се използват като едър и дребен добавъчен материал за леки бетони с различно предназначение, като предварително частично се раздробяват и фракционират.

➤ Вулкански туфи и лава

Минералният състав на вулканските туфи е разнообразен и зависи от характера на лавата, от която се е получил пирокластичният материал. Най-често срещаните видове са: риолитовите, трахитовите, андезитовите, диабазовите и др. Цветът им зависи от състава - бял, сив, виолетов, червен, черен и т.н. Именно структурата и минералният състав на вулканските туфи определят основните им качества като лек добавъчен материал: обемна плътност, зърнометричен състав, водопоглъщане, устойчивост срещу разпадане и др.

Образуващите се при кариерни разработки на масиви от вулкански туфи отпадъци, след раздробяване и сортиране на фракционирания материал се разделят на пясък с обемна насипна плътност от $(700 \div 1000) \text{ kg/m}^3$ и трошен камък от $(600 \div 800) \text{ kg/m}^3$, пригодни за производство на леки бетони.

1.3.2. Видове леки добавъчни материали от седиментен произход

За получаване на леки добавъчни материали от седиментни скали най-голямо значение имат карбонатните - порьозни пясъчници и черупчести варовици. В някои случаи могат да се използват и порьозни силикатни скални материали.

➤ Порьозни пясъци и черупчести варовици

От пясъчниците, които са с обемна плътност около 2000 kg/m^3 , при

раздробяване се получава трошен камък с насипна плътност до 1000 kg/m^3 (при междузърнеста порьозност 50%) и може да се приеме като лек добавъчен материал.

Черупчестите варовици представляват седименти скали във вид на малки раковини, свързани с пясъчници. Обемната им плътност варира от $(1000 \div 1600) \text{ kg/m}^3$ при якости $(0,5 \div 10,0) \text{ N/mm}^2$, а за пясъчниците – $(1600 \div 2000) \text{ kg/m}^3$ при якости до $25,0 \text{ N/mm}^2$.

➤ Силикатни скални материали

Между силикатните скални материали от утаечен произход приложение като добавъчни материали имат - спонголит, алевролит, опока и др. Те са с обемна плътност в границите на $(900 \div 1400) \text{ kg/m}^3$ и якост на натиск – $(2,5 \div 15,0) \text{ МПа}$. Имат зърнеста структура с дребни пори.

1.4. ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ ОТПАДЪЦИ ОТ ПРОМИШЛЕНИ ПРОИЗВОДСТВА

Значителен резерв в обезпечаването на строителството с леки добавъчни материали представляват отпадъците от различните промишлени отрасли. Почти във всеки район на дадена страна има едно или няколко промишлени производства, което отделят отпадъчни продукти. Тяхното проучване и изследването на свойствата им е предпоставка за намиране на съответното им приложение като добавъчен материал в строителството и намаляване, както на замърсяването на околната среда, така и на себестойността на строителното производство.

1.4.1. Отпадъци от промишлеността, използвани като леки добавъчни материали

➤ Металургични шлаки

Металургичната промишленост е един от отраслите, при който се формират най-големи количества шлаки. Практически, получената шлака е 2-3 пъти по-голям обем от произведения чугун. Ето защо се е наложило наименованието “попътно добит продукт”, а не “отпадък”. Освен шлаки от черната металургия се получават шлаки и от цветната металургия, които през годините са натрупани на големи отвали и заемат значителна територия.

➤ Доменни шлаки

По химичен състав доменните шлаки се характеризират основно с наличието на следните окиси: CaO ($30 \div 50\%$); SiO_2 ($30 \div 40\%$); Al_2O_3 ($10 \div 30\%$), съдържат

също примеси на желязо, магнезий, манган, сяра и др. Частично те се използват в циментовата промишленост. Малка част - за производство на шлакова вата, лети изделия и др.

Възможностите за получаване на пълнители за бетон са две - чрез раздробяване на получаваната текущо доменна шлака или чрез сортиране на тази от отвалите.

Обемната плътност на повечето доменни шлаки е различна - между $(400 \div 1600)$ kg/m^3 и якост на натиск от $(2,5 \div 40,0)$ МПа. Тези с по-малка обемна маса при изстиването си отделят газове и застиват във вид на порьозен материал. При раздробяването на шлаките и получаването на едър добавъчен материал обемната маса е около 800 kg/m^3 и по-малка и може да се използва за леки бетони.

➤ Гранулирани шлаки

При обработката на металургичните шлаки с вода протича рязко охлаждане на стопилката и нейното гранулиране - раздробяване на отделни дребни зърна, чиято структура е аморфна, стъклообразна.

По обемна плътност гранулираната шлака съответства на едър пясък - размерът на зърната предимно $(0,6 \div 5)$ mm, в т.ч. по-едър от 2,5 mm - над 50%. Нерядко има и по-големи зърна - до 10 mm.

Основното приложение на гранулираната шлака е за производство на шлакопортландцимент, но значително количество се използва и в качеството на добавъчни материали за бетон.

➤ ТЕЦ-ови шлаки

Получават се при изгарянето на каменни, антрацитни и лигнитни въглища и др. видове топливо в различни котли и агрегати.

В зависимост от вида на използваните горива се различават шлаки, като отпадък при изгарянето им:

Шлаки (сгурии) от едро раздробено гориво (на късове)

В началото на развитието на ТЕЦ-овете у нас и по света при изгарянето на горивото, раздробено на късове, се образува шлака (сгурия) във вид на слитъци с неправилна форма до 50 mm, с шуплеста структура. Излизащата шлака е в порядък 10% и повече от теглото на входящото гориво.

Като леки добавъчни материали за бетони сгуриите са използвани през 60-те - 70-те години на XX-ти век и в Р. България за производство на фасадни панели в

едропанелното строителство.

Шлаки, получени при изгаряне на прахово гориво

След реконструкция на повечето топлоцентрали се преминава към изгаряне на гориво в прахообразно състояние и извозване на пепелите и сгуриите по воден начин. Това води до влошаване качеството на сгуриите и намаляване областта на приложението им като лек добавъчен материал.

Пепели от ТЕЦ

Всяка година от топлоцентралите отпадат големи количества пепели (в някои страни достигат 70÷100 млн. тона), като заемат големи площи за съхраняването им. На база редица научни изследвания е установена тяхната пригодност като дребен добавъчен материал при производството на леки бетони или като суровина за получаване на добавъчни материали. Обемната им плътност е от (600÷1300) kg/m³, в зависимост от вида на горивото и условията на изгаряне.

1.4.2. Леки добавъчни материали, получени от промишлени отпадъци чрез допълнителна преработка

➤ Термозит (шлакова пемза)

При производството на чугун в доменни пещи се отделя доменна шлака в разтопено състояние с температура около 1500°C.

Получаването на термозит се осъществява по различни начини, но основният принцип е един и същ - създаване на равномерни пори в разтопената шлака преди нейното изстиване. Лекият добавъчен материал се оформя след натрошаване на получените по-големи късове и фракционирането им. По тази технология се получават зърна с открити пори и с остри ръбове, което е най-характерната особеност на термозита. [12,13]

Термозитът като лек добавъчен материал се получава с твърде ниска себестойност поради липса на гориво и малък разход на енергия.

➤ Аглопорит

Аглопоритът представлява изкуствен порьозен материал, получен чрез термична обработка на отпадъци от промишлеността - пепели и каменовъглени пляки.

Изходната суровина се натрошава на зърна с големина 5÷7 mm, смесва се с вода (може да се добави и прахообразно гориво) и се подава върху агломерационна решетка за изпичане. В процеса на изпичане се оформя порьозната му структура.

1.5.ЛЕКИ ИЗКУСТВЕНИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

Използването на порьозни леки добавъчни материали вместо обикновените добавъчни материали, дава възможност за промяна на свойствата на получените бетони в желано направление намаляване на обемната плътност; подобряване на топлоизолационните свойства и т.н. Ефективни конструкции от леки бетони на база леки добавъчни материали широко се използват в строителството и има големи перспективи за тяхното бъдещо развитие и приложение.

Поради ограничените и локализирани находища на природни леки добавъчни материали, както и непостоянният химичен състав на вторичните отпадъчни продукти, които имат качествата на леки добавъчни материали, все по-голям интерес и развитие придобива производството на изкуствени леки добавъчни материали. Методите за тяхното получаване, както и суровинната база, която се използва е различна, но целта е една - получаване на леки добавъчни материали с по-добри свойства и разширяване възможностите за тяхното приложение в строителството.

1.5.1. Керамзит

Керамзитът е изкуствен лек добавъчен материал с овална форма и фино порьозна структура. Получава се в резултат на експандиране на различни по състав леснотопими глинни при тяхното ускорено изпичане. Набъбването на глината при изпичането се проявява при висока температура – $(1000\div 1200)^{\circ}\text{C}$. Характеризира се с малка обемна плътност, добри якостни показатели и малък коефициент на топлопроводност. Най-масово произвежданият и прилаган в строителството е с плътност от 400 kg/m^3 до 800 kg/m^3 . Обикновено се получава във вид на едър лек материал със сферична форма на зърната и затворени пори по повърхността. Цветът му е близък до цвета на керамиката във външната си част, а вътрешната порьозна структура е тъмна до черна.

1.5.2. Шистопорит

Шистопоритът е лек добавъчен материал, получен от плътни каменоподобни глинести суровини (шисти). За разлика от керамзита той има зърна с неправилна форма (близка до тази на трошения камък) и плътна външна обвивка (повърхността на зърната е остъклена и порите са затворени, но дава добро сцепление с циментовия камък). Експандирането се осъществява при температура $(1100\div 1120)^{\circ}\text{C}$. Шистопоритът има по-висока якост от керамзита и

дава възможност за получаване на високоякостни леки бетони. Обемната плътност на шистопорита като едър добавъчен материал е в границите на $(550\div 800) \text{ kg/m}^3$.

1.5.3.Перлит

Перлитът се получава от вулканични скали, състоящи се от вулканично стъкло (перлит, обсидиан, витрофир и др.) с включения от отделни кристали - плагиоклаз, кварц, биотит и други минерали. За него е характерна особена концентрично черупчеста, т. нар. "перлитова" структура, благодарение на която цялата скала изглежда като състояща се от зациментиранни едни към други тънкостенни черупки.

Перлитът се получава при температура на експандиране до 1250°C с обемна плътност: за перлитов пясък $(35\div 280) \text{ kg/m}^3$; за едър добавъчен материал – $(250\div 460) \text{ kg/m}^3$ и коефициент на топлопроводност в границите на $(0,046\div 0,082) \text{ W/m.K}$.

Експандираният перлит се използва като топлоизолационен материал и пълнител за леки топлоизолационни и конструктивно-топлоизолационни бетони, за производство на топлоизолационни изделия и др.

1.5.4.Вермикулит

Суровината за производство на експандиран вермикулит (термовермикулит) е минералът вермикулит, който представлява сложен високо хидратизиран магнезиево-железен алумосиликат, отличаващ се с непостоянен химичен състав, слоеста структура и свойството да се разцепва на тънки пластове и люспи. Образуван се е в резултат на изветряне или хидротермални изменения на желязо-магнезиалните слюди - биотит и флогопит. Той е една от разновидностите слюдите със съдържание на свързана вода от 8 до 18% и притежава способността да експандира при нагряване. Към тази група, освен вермикулита, спадат също хидрофлогопит и хидро-биотит, различаващи се от него с по-малката степен на хидратация.

Получава се чрез експандиране при нагряване до $(1000\div 1100)^\circ\text{C}$ с обемна плътност в границите на $(110\div 160) \text{ kg/m}^3$ и коеф. на топлопроводност е в границите на $(0,045\div 0,067) \text{ W/m.K}$.[17]

От експандиран вермикулит се получават особено леки бетони с малка якост за топлоизолация, също така и като външен топлоизолационен слой на стенни панели и в комбинирани покривни плочи. Поради високата температура на топене (до 1400°C) вермикулитът се използва за топлоизолация и огнезащита в

устройства и агрегати, работещи при температура до 1100°C - мартенови пещи, сушилни апарати, тръбопроводи и др., както и за производство на огнеупорни изделия. Разработени са състави за топлоизолационни изделия, комбинации от: минерална вата и вермикулит - плочи, блокове и сегменти; вермикулит и експандиран перлит - плочи и др.[17]

1.5.5.Аглопорит

Аглопоритът е изкуствен поръзен материал, получен посредством термична обработка на силикатни материали по метода на агломерация, т.е изпичане в конгломерат на насипен топливо съдържащ материал посредством неговото слоево изпичане с интензивно просмукване или продухване на въздух през слой от горящ материал.

Като суровина за получаване на аглопорит се използват природни глинести материали: лъос, аргилит, песъчливи глини, глинести шисти, а също така и въглесъдържащи промишлени отпадъци: от обогатяване и добив на въглища, ТЕЦ-ови шлаки от слоестото изпичане на изкопаеми въглища или от тяхната химическа преработка в газообразно гориво, финодисперсни пепели от ТЕЦ.

Аглопоритът се използва в строителството за приготвяне на леки топлоизолационни и конструктивно-топлоизолационни бетони с обемна плътност (900÷1000/1800) kg/m³. Аглопоритобетонът се характеризира с коефициент на топлопроводност (0,3÷0,7) W/m.K, в зависимост от обемната плътност (1000÷1400) kg/m³; коефициент на размекване 0,8÷0,95, водопоглъщане до 20% и мразоустойчивост от (50÷100) бр. цикли.[12]

Също така може да се използва и като насипен топлоизолационен материал за подове и студени покриви.

1.5.6. Термолит

Термолитът е лек поръзен материал, получен при изпичането на силикатни скални суровини във въртящи се пещи. Силикатите спадат към групата на седиментните скални материали, като основно са представени от три разновидности: диатомит, опока и трепел.

Различните опалови скални суровини различно реагират на термична обработка, но основното за тях е намаляване на обемната им плътност. [24].

Голяма част от получените термолити, във вид на едър добавъчен материал, се отнасят към пълнителите с по-висока плътност и могат да се използват за получаването на конструктивно-топлоизолационни бетони.

1.5.7. Азерит

Технологията за получаване на изкуствения лек добавъчен материал – азерит, дава възможност за получаване на порьозен лек материал от широко разпространени видове минерални суровини, в т.ч. и неекспандиращи, различни по минерален, химически и гранулометричен състав. Тя включва основна топлинна обработка на суровините при $(1450\div 2000)^{\circ}\text{C}$. При тази висока температура се осигурява преминаването на кристалинните съставки на материала в стъкловидно състояние, а чрез бързото охлаждане на стопилката със скорост $(300\div 400)^{\circ}\text{C}$ в минута се изключват възможностите за образуване на нови кристални фази. След охлаждането полученият материал се смила до прахообразно състояние, смесва се с газообразуващи добавки, навлажнява се, гранулира се и се експандира.

Азеритът се характеризира с: обемна плътност на чакъла $-(350\div 400) \text{ kg/m}^3$, а на пясъка – $(650\div 800) \text{ kg/m}^3$.

На основа на два пъти по-малката обемна плътност на азерита са получени леки азеритобетони с якост равна на тези от керамзитобетон.

1.5.8. Шунгизит

Суровината за производство на шунгизит са шунгитови шисти съдържащи минерали от групата на монтморилонита, илита и хлорита. Получава се по технологията за производство на керамзит и може да се приеме като негова разновидност във вид на шунгизитов чакъл - фракции 5/10 mm и 10/20 mm и пясък 0/5mm. [16]

Шунгизитовият чакъл се характеризира с якост на натиск $-(0,4\div 2,3) \text{ MPa}$ и издържа на мразоустойчивост 25 бр. цикли.

Използван е като лек пълнител за получаване на леки бетони с обемна плътност $-(500\div 1400) \text{ kg/m}^3$, мразоустойчивост – до 75 бр., цикли и коефициент на топлопроводност – $0,22 \text{ W/m.K}$.

1.5.9. Пеностъкло

Това е високопорьозен формован топлоизолационен материал, състоящ се от въздушни клетъчни пори, разделени с прегради от стъкловидно вещество и получен при спичане на фино смлян стъклен прах и газообразувател. [26,27]

Пеностъклото се характеризира с висока якост, водоустойчивост, негоримо, биоустойчиво, с ниска топлопроводимост и добри топло- и звукоизолационни свойства. В зависимост от приложението си пеностъклото се дели на

изолационно-строително, изолационно-монтажно, специално (неосновно и високосиликатно, влагозащитно [26]. Използва се предимно на плочи за топлоизолации на покриви, подове и стени. Подходящо е за помещения с висока влажност, за промишлени хладилници, тръби и др.[74].

1.5.10.Стъклопорит

Този лек добавъчен материал е разработен на база недефицитни суровини (глини, скални материали) и отпадъци от промишлеността и рудодобива по технологията на пеностъклото. Получава се чрез експандиране на стъклопрахови гранули.

Структурата на вътрешната част на гранулите се състои от аморфна фаза (90÷95%) с равномерно разпределени пори, които осигуряват ниска обемна плътност и добри топлоизолационни свойства.

Стъклопоритът е изследван за получаване на леки бетони за изготвяне на сглобяеми и монолитни конструкции.[25]

1.4.11. Стъклопор, силипор и сотосилипор

Тези топлоизолационни леки материали се получават на база експандиране на хидратирани разтворими стъкла при нагриване или в резултат на химично взаимодействие с добавки – газообразуватели.

Силипорът и стъклопорът са материали с висока порьозност – (98÷99,6)%. Обемната плътност на тези материали е от 40 kg/m³ до 200 kg/m³, а коефициентът на топлопроводност за най-леките достига (0,028÷0,035)W/m.K.

Приложението им е за получаване на топлоизолационни изделия, чрез смесване с различни видове свързващи вещества: стъклосиликати; стъклоцимент и т.н. Използват се и като пълнител за получаване на сотосилипор от пластмаси (сотопласти) във вид на плочи с обемна плътност (40÷80) kg/m³. [11,28]

1.5.12. Сипор

От изходни материали- водно стъкло, боракс и перлит, чрез експандиране се получава продукт с обемна плътност от (175÷315) kg/m³ с широко приложение за топлоизолация на сгради и съоръжения. [9]

1.5.13.Пенопласти

На основата на различни синтетични органични полимерни материали се получават продукти, които се използват като пълнители за бетон. Най-голямо значение за строителството имат пенопласти, получени от полистиролни, полиуретанови, фенолформалдрхидни и полихлорвинилови полимери (смоли).

Свойствата на пенопластите са в зависимост от вида на полимера и се колебаят в широки граници: обемна плътност от $(10 \div 150) \text{ kg/m}^3$; коефициент на топлопроводност от $(0,023 \div 0,053) \text{ W/m.K}$; якост на натиск от $(0,05 \div 4) \text{ MPa}$.

1.6. ЛЕКИ БЕТОНИ И ИЗДЕЛИЯ НА БАЗА ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

Ролята на леките бетони с естествени леки добавъчни материали е съществена и ще остане такава за областите богати на такива природни ресурси, но в съвременното и бъдещо строителство по-голямо значение придобиват и ще се разширява приложението на изкуствено получените леки добавъчни материали и бетоните на тяхна основа.

Видовете леки бетони на база леки добавъчни материали могат да се подразделят на:

Плътни леки бетони: съдържащи всички съставни части на обикновените бетони и след полагане и уплътняване имат тяхната структура. Различават се по участието на добавъчните материали за оформяне на тази плътна структура. Тези материали - едри и дребни или само едри, сами по себе си са порести, с малка плътност на зърната и относително по-малка якост от тази на обикновените добавъчни материали за бетон.

Полупорьозни леки бетони: съдържат недостатъчно количество дребен добавъчен материал (не повече от 10% от едрата фракция), поради което при уплътняване празнините между едрият пълнител не могат да се запълнят изцяло. По този начин общата порьозност се увеличава от наличността на конструктивни пори. Тези бетони са с намалено обемна плътност, но тяхното приложение е ограничено.

Порьозни бетони с леки добавъчни материали: това са т.нар. "безпясъчни" бетони, които се приготвят само с едър добавъчен материал с подходяща едрина на зърната. По тази причина бетонът има значителен обем конструктивни пори и сравнително ниско тегло. Тези свойства го правят подходящ за топлоизолации в строителството. За тези бетони се използват обикновено зърна с еднаква големина, като свързващото циментово тесто е в такова количество, че само да обвие с тънък слой зърната, без да запълва празнините между тях.

Леките бетони могат да се разделят на две основни групи в зависимост от вида на вложените леки добавъчни материали: изготвени с леки добавъчни материали от естествен произход или от изкуствено получени леки добавъчни материали.

Всички тези видове леки добавъчни материали, отразени в основните видове леки бетони, дават едно твърде голямо разнообразие от бетони с най-различни физико-механични характеристики, които при едно добро познаване и умело съчетаване с изискванията на конструкциите могат да доведат до технически целесъобразни и икономични решения.

Конструкциите от леки бетони дават възможност да се подобрят топлотехническите и акустичните характеристики на сградите, значително да се намали тяхната плътност, успешно да се реши проблема с обемното и многоетажното строителство, а също и строителството в сеизмичните райони.

В зависимост от основното им предназначение в конструкциите, леките бетони могат да се разглеждат и разделят, както следва [7,8]:

1.Топлоизолационни: с обемна плътност под 500 kg/m^3 и коефициент за топлопроводност под $0,20 \text{ W/m.K}$. Добрите топлоизолационни свойства позволяват тези бетони да се прилагат в ограждащите многослойни конструкции като достатъчно надеждна топлоизолация и звукоизолация .

2.Конструктивно-топлоизолационни: с обемна плътност $-(500\div 1500)\text{kg/m}^3$, коефициент на топлопроводност - в границите на $(0,5\div 0,6) \text{ W/m.K}$ и якост на натиск – $(2,5\div 10) \text{ MPa}$, която дава възможност за прилагане като преградни конструкции. Използваните леки добавъчни материали е необходимо да запазват якостта си при обработка, а свързващото вещество да се сведе до минимум.

3.Конструктивни: характеризират се с обемна плътност $(1600\div 1800) \text{ kg/m}^3$, при използване на едър лек добавъчен материал и кварцов пясък, якост на натиск - до 40 MPa , висока мразоустойчивост от 25 до 200 бр. цикли, топлопроводност в сухо състояние $(0,35\div 0,60) \text{ W/m.K}$. Използват се за изготвяне на носещи конструкции (стени, междуетажни плочи и др.).

Друга основна класификация за леките бетони е на база якостта на натиск (с означение LC) – кубова и цилиндрична.[31]

В зависимост от условията на втвърдяване леките бетони се делят на:

Втвърдяващи при естествени условия: към тях се отнасят всички видове леки бетони с леки добавъчни материали и свързващо вещество – цимент.

Топлинно обработени: това са бетони получени чрез автоклавна технология, т.е втвърдяване в автоклави при пропарване под налягане от $(0,8\div 1,0) \text{ MPa}$, а именно т. нар. “клетъчни” бетони – газобетон и газосиликат; пенобетон и пеносиликат.

1.6.1. Леки бетони на база леки добавъчни материали

За изготвяне на леки бетони се използват различни видове леки добавъчни материали като порьозни пълнители: изкуствени - керамзит, аглопорит, перлит, шлакова пемза и др. и естествени - туфи, пемза и др. През последните десетилетия за особено леки бетони все по-широко се използват и експандирани гранули полистирол.

Якостта, както на леките, така и на тежките бетони зависи от водо-циментовото отношение, което определя свойствата на циментовия камък. Въвеждането на леките добавъчни материали в бетона намаляват якостта му, като колкото по-голямо е това количество, толкова по-малка е неговата обемна плътност. Друга важна особеност е тази, че всеки едър добавъчен материал дава възможност за получаване на бетон с якостни показатели до определена стойност и дори при намаляване на водо-циментовото отношение не се постига увеличаване на якостта на бетона.

Съществено влияние върху якостта на леките бетони оказва съдържанието на едър добавъчен материал и концентрацията му, представена като относителна величина (обем на лекия пълнител в 1m^3 бетон). Въвеждането на леки добавъчни материали изменя и деформационните свойства на бетона, намалява се модула на еластичност и то в зависимост от деформируемостта на пълнителя и неговото количество. Важно свойство за леките бетони е тяхната топлопроводност, която определя дебелината на ограждащите конструкции.

Важно е да се отбележи високото водопоглъщане на леките добавъчни материали, които при влагане в бетонната смес отнемат процент от водата на разтворната част. За компенсиране влиянието на водопоглъщането и съхраняване подвижността на бетонната смес се налага увеличаване разхода на вода. [32].

При определяне предварителния състав на бетона се използват зависимости и се отчитат особеностите на влияние на различните видове леки добавъчни материали върху свойствата на бетонната смес и бетона. Съгласно изискванията на БДС EN 206:2014, като леки добавъчни материали се определят такива, чиято плътност на зърната в изсушено състояние е под 2000 kg/m^3 (определена по БДС EN 1097-6) или с обемна плътност в изсушено свободно насипно състояние под 1200 kg/m^3 (определена по БДС EN 1097-3).

Различават се голям брой разновидности на леки бетони с леки добавъчни

материали [10].

1.6.2. Клетъчни бетони

В последните десетилетия се разрасна производството на т.нар. “клетъчни бетони”. Те имат своеобразна клетъчна структура от макропори (с размери $1\div 1,5$ mm), равномерно разпределени в обема на бетона и отделени една от друга с тънки, но достатъчно устойчиви прегради (мембрани). Средната плътност на тези бетони се колебае в широки граници: от 1200 kg/m^3 и по-малко от 500 kg/m^3 . При средна плътност не повече от 500 kg/m^3 - се използват за топлоизолация, от $(500\div 900)\text{ kg/m}^3$ - като конструктивно-топлоизолационен бетон и от $(900\div 1200)\text{ kg/m}^3$ - като конструктивни елементи с армировка.

Други основни показатели за клетъчните бетони са : якост на натиск $-(0,5\div 15,0)$ МПа; мразоустойчивост- над 25 бр. цикли; коеф. на топлопроводност – $(0,08\div 0,25)\text{ W/m.K}$; съсъхване – $(0,2\div 0,6)\text{ mm/m}$ [32].

Наред с добрите си качества клетъчните бетони имат и някои недостатъци, като голяма водопопиваемост, увеличено съсъхване и т.н. При опасност от навлажняване на изделията и конструкциите от клетъчни бетони е необходимо двустранно хидроизолиране.

1.7. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И ПРЕДПОСТАВКИ ЗА РАЗРАБОТВАНЕ НА НОВИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Както в световен мащаб, така и в нашата страна икономическото развитие изисква преимуществено увеличаване производството и приложението на високо ефективни материали и конструкции, снижаване на материално-, енерго- и трудоемкостта, а оттам и себестойността на строителството.

Важен въпрос при решаването на тези проблеми е повишаване топлоизолацията на сградите и понижаване разхода на енергия при производството на необходимите за целта материали. Най-ефективно тези изисквания се удовлетворяват от леките конструктивно-топлоизолационни бетони с леки добавъчни материали.

Развитието на съвременното строителство е свързано, от една страна с повишаване качеството на строителните работи, осигуряване на изискванията за топлоизолация на сградите, надеждност и комфорт, а от друга - намаляване до минимум на ръчните трудоемки процеси, довършителните дейности и продължителността на етапите за строителство на сградите и съоръженията.

В резултат на проведените проучвания и направения анализ се налагат няколко основни извода:

1. Като перспективни материали за масово промишлено производство на едроразмерни блокове и елементи, а също и на обемни елементи са леките бетони на база леки добавъчни материали (предимно от изкуствен произход). От леки бетони практически могат да се изготвят всички елементи на сградата: панели за външни и вътрешни стени, покривни панели, подови плочи и т.н. Всички тези изделия могат да бъдат изготвени както като ненапрегнати, така и като предварително напрегнати.
2. Оптимизирането на физико-механичните характеристики, като намаляването на обемната плътност на бетона и повишаването на топлоизолационната им способност, имат голямо значение за повишаване на ефективността и качеството на крайните продукти и реализиране на икономии от материал и труд в строителството.
3. За постигане на якости при относително по-малка обемна плътност се изразходва по-малко количество свързващо вещество, елементите могат да бъдат произвеждани с по-големи размери, а декофрирането им се провежда в съкратени срокове.
4. Изследванията, насочени към получаване на нови леки добавъчни материали с понижен разход на енергия за производството им и подобрени физико-механични показатели, с използване на отпадъчни продукти от промишлеността и селското стопанство се очертават като перспективна област в строителната наука. Тези изследвания са предпоставка за решаване на голяма част от проблемите възникващи, както в икономически, така и в екологичен аспект при производството на леки бетони с леки добавъчни материали.
5. Въпреки разширяване на строителството в Р. България производството на леки добавъчни материали е намаляло значително през последните десетилетия. Повечето от мощностите за получаване на изкуствени леки добавъчни материали (едри и дребни фракции) са спрени, като е преустановено производството на керамзит, аглопорит и шистопорит. Към момента се произвеждат времикулит и експандиран перлит, като производство е твърде скъпо и енергоемко.
6. Анализирането на методите и технологиите за получаване на изкуствени леки

добавъчни материали, както и наличната суровинна и материална база в нашата страна, налагат извода, че новите насоки за развитие и усъвършенстване на тези технологични производства са актуални и разработването на нови състави от леки добавъчни материали са перспективни.

7. Целесъобразно и икономически изходно е оползотворяването на част от натрупваните през годините значителни количества отпадъчни продукти от рудодобива, металургията, ТЕЦ-овете, производството на строителни материали и др. и основавайки се на опита на други страни могат да се потърсят възможности за преодоляване на възникналия дефицит от леки материали за бетони за строителството. В този смисъл е необходимо да бъдат установени възможностите за влагане на различни видове отпадъчни продукти от промишлеността и селското стопанство, с оглед намаляване замърсяването на околната среда от тяхното натрупване.

8. От анализа на проблема за нашата страна и произвежданите към настоящия момент ограничен брой олекотени материали за нуждите на строителството, разработването на леки добавъчни композитни материали, включващи отпадъчни продукти от различни промишлени отрасли, може да даде нови насоки за приложение.

Предмет на настоящото изследване е разработване, изпълнение и възможности за прилагане на леки добавъчни материали и продукти от тях от вторични отпадъци от различни производства и строителството.

Целта на дисертационния труд е: на основата на разработен и патентован ниско енергиен метод за обработка и получаване на леки добавъчни материали да се проучат възможностите за влагане в тях на вторични продукти и изследване на техните свойства за приложение в строителството.

За постигането на тази цел е необходимо да бъдат решени следните научно-изследователски задачи:

1. Определяне на източниците на суровините (вторични продукти от различни производства) за получаване на леки добавъчни материали на органична или минерална основа.

2. Изследване и оценка на свойствата на получените леки добавъчни материали по разработен ниско-енергиен метод за производство.

3.Разработване на композитни смеси за леки бетони на база получените леки добавъчни материали, определяне на основни характеристики и сравнителни анализи.

За целите на изследванията са използвани стандартни методики за окачествяване на част от изходните суровини, определяне на характеристиките им и основни показатели на получените на тяхна база леки добавъчни материали.

Основните насоки на изследванията са свързани с използването на вторични минерални ресурси за производство на традиционни материали (пълнители за разтвори и бетони, леки бетони и продукти на тяхна основа и др.) с определени химични и физико-механични свойства.

Поради големия брой отпадъчни продукти от промишлеността и строителството се налагат ограничения в дисертационният труд. От оценката и анализа на количествата и качествата на материалите в Р. България са определени някои видове, с които да бъдат проведени експериментални изследвания за установяване на тяхната пригодност за целите на дисертационния труд.

ГЛАВА 2: МЕТОДИКА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА НОВИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ И ИЗДЕЛИЯ

2.1. МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ЕКСПАНДИРАНИ ЛЕКИ МАТЕРИАЛИ

Проучени са и са съпоставени методите за производство на различни видове леки добавъчни материали и изделия чрез експандиране – керамзит, шистопорит, перлит и др.[6,14,15,17].

Установени са технологичните особености и изисквания, съответстващи на въвежданите основни суровинни компоненти и на тази база са направени определени изводи, на които се базира разработеният и патентован метод за получаване на нов вид изкуствени леки добавъчни материали на минерална основа с използване на отпадъчни продукти от различни промишлени производства.

Настоящите изследвания са проведени с експандирани леки материали, получени по разработен и патентован метод за производство на леки добавъчни материали (ЛДМ) на база на композитни смеси, на които чрез експериментално изследване са определени основни характеристики. Определени са важни насоки, като: използвани суровини (екологосъобразни материали), възможности за получаване на материали с различен фракционен състав за разтворни и бетонни смеси, както и за готови продукти.

Методът включва основни технологични операции, които не се различават съществено от използваните досега при подобни методи за експандиране. Спецификата му се състои в предварителната подготовка, отлежаването на смесите и последващо експандиране, което протича при понижена енергоемкост на процеса.[34]

Основните технологични операции за производството на леките добавъчни материали са:

1.Подготовка на основните материали: водно стъкло (ВС) и микросилициев прах (МСП), които се смесват в определени тегловни съотношения до пълно хомогенизиране на сместа;

2.Добавяне на допълнителни компоненти (отпадъци от различни производства) към основната смес и хомогенизиране: в тегловни % се добавят избраните отпадъчни продукти, като при необходимост те предварително се смилат, раздробяват и т.н. до определената едрина;

3.Отлежаване (зреене) при определени условия до втвърдяване: приготвената композитна смес се насипва на пласт с определена дебелина и при температура от 20 °C до 100°C отлежава до разпенване и последващо втвърдяване.

4.Механично раздробяване и добавяне на носител (активен или пасивен): полученият полуфабрикат, с влажност не повече от 1%, постъпва в мелници и се натрошава до частици с определени размери, като успоредно с раздробяването или непосредствено след него се добавя съответен активен или пасивен носител;

5.Експандиране: полученият и сепариран на фракции материал експандира при температура до (400÷500)°C в среда на носител и при различна схема на подгряване в рамките до 3 часа;

6.Получаване на крайните продукти: след експандиране се получава гранулат (лек добавъчен материал) с различна едрина на зърното, който се охлажда до стайна температура, сепарира се на фракции и се съхранява в складови съоръжения.

В зависимост от вариантите на допълнителните отпадъчни компоненти и вида на носителя може да се получи богата гама от материали с различни характеристики.

При някои от добавяните отпадъчни продукти може да се наложи и допълнителна подготовка (раздробяване, смилане до определена едрина и др.).

2.2. ОПИТНА ТЕХНОЛОГИЧНА СХЕМА

За подготовка на входящите суровини, получаване на полуфабриката (след зреене и втвърдяване на сместа), последващото смилане, изпичане и експандиране, получаването на готовите леки добавъчни материали, сепарирането и складирането им, се използва технологична схема, съобразена със съществуващи технологии за производство на леки изкуствени добавъчни материали в страната.

Основно е използвана схемата за получаване на експандиран перлит, модифицирана с някои допълнителни операции.

Основно оборудване и операции за получаване на лек добавъчен материал :

Изследванията са извършени в полу-промишлени условия, на база на

подготвени основни и допълнителни машини и съоръжения:

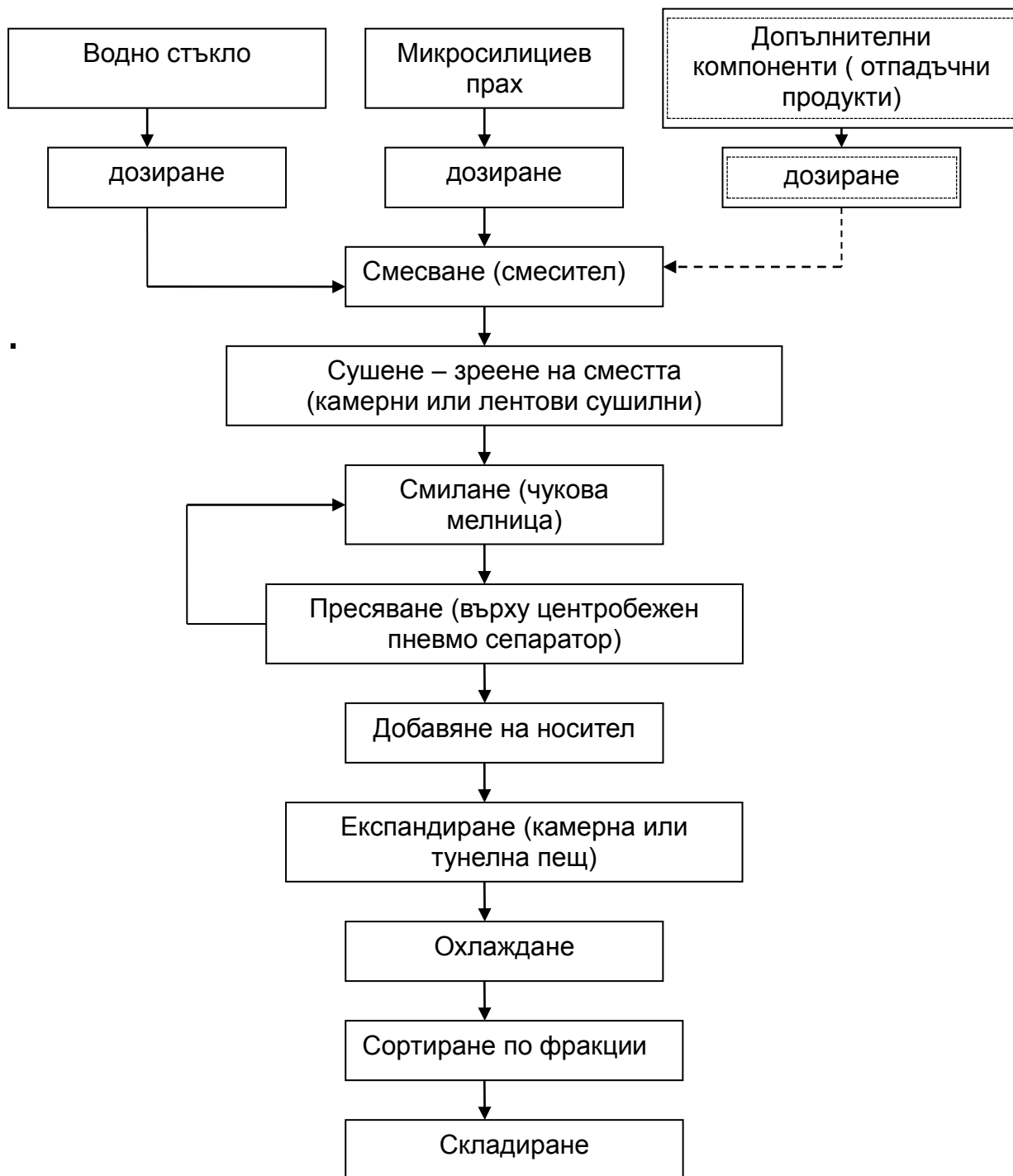
- *Бункер с дозатор*: за подаване на микросилициев прах и допълнителни компоненти (отпадъчни продукти);
- *Смесител*: (тип “Колерганг”, Германия или такъв на фирма “Уни Морандо”, Италия) за смесване на суровините от водно стъкло и микросилициев прах;
- *Лентова или камерна сушилня*: (тип “ЕЛПРОМ”, Балчик или Германия, Италия и др.) за подгръвяне и изсушаване на получената хомогенна смес;
- *Чукова мелница*: (българско производство на завод “Сила”, Ямбол или др.) за натрошаване на получената твърда маса с влажност до 1%;
- *Центробежен пневмо-сепаратор*: (българско производство) за класиране на смления материал по едрина и съответно обратно връщане за допълнително смилане;
- *Смесител*: за добавяне на съответния вид носител към основната гранулирана маса и хомогенизирането ѝ;
- *Камерна или тунелна пещ*: (българско производство -на “ЕЛПРОМ”, Балчик или др.) за експандиране на постъпилия гранулат при температура до 500°C;
- *Охладител*: за охлаждане на получения готов материал до температура 20°C;
- *Сепаратор*: за допълнително разделяне на получения лек добавъчен материал на фракции;
- *Складово помещение*: полученият фракциониран материал се складира в закрыта складова база.

Като допълнително оборудване за някои от видовете допълнителни компоненти към основната смес могат да се включат машини за натрошаване или раздробяване и т.н.

В най-общ вид последователността на процесите за получаване на разработваните леки добавъчни материали е представена на приложената технологична схема.(Фиг. 2.1.)

ТЕХНОЛОГИЧНА СХЕМА

Фигура 2.1.



2.3. ПРЕДИМСТВА НЕДОСТАТЪЦИ НА МЕТОДИТЕ ЗА ЕКСПАНДИРАНЕ

Разработената технологична схема за получаване на леки добавъчни материали при понижен разход на енергия е съобразена с възможностите за получаване на традиционни леки добавъчни материали и наличните технологични линии, които към момента не се използват с необходимия капацитет или са спрени съответните производства.

При оформяне на някои основни параметри на процесите на експандиране е използван прилагания метод за производство на перлит, който се състои в следното:

- подготовка на суровината, чрез натрошаване на природната скала перлит на късове до 20 mm;
- надробяване и смилане в чукови, топкови и др. мелници или дезинтергатори до късове с размер 2 mm;
- предварително изсушаване на суровината (ако се налага);
- сепариране на получения материал на класи – 6÷7 големини;
- подаване на всяка от класите материал в пещ за термична подготовка - подгряване при температура (200÷400)°C, при което се отнема част от кристалната вода и продуктът се изсушава до остатъчна влажност (4÷6)%;
- подаване на изсушения материал във шахтова пещ със загряване до температура на газовете (900÷1200)°C и експандирането му. При този процес влагата в материала се изпарява и под въздействие на високата температура и получената пара се увеличава многократно обема на отделните гранули до 16÷20 пъти;
- пневмотранспорт и циклони за разделяне по фракции със сепаратори (чрез прахоулавяне в циклони, ръкавни филтри и др).

Като *предимства* на разработения метод и технология за получаване на леки добавъчни материали с участие на отпадъчни продукти при понижен енергиен разход, сравнен с традиционния технологичен процес за производство на перлит, могат да се определят:

1. Намалена продължителност на процеса и оттам по-висока производителност;
2. По-нисък разход на енергия за достигане на температура на експандиране до 500 °C вместо необходимите за перлита (900÷1200)°C;

3. Получаване на фракции в широк диапазон, за разлика от тези при перлита, които са в тесен диапазон на едрина на зърната, т.е. всяка фракция се отделя и експандира, за да се избегне изгарянето или недостатъчното им експандиране;

4. Не са необходими специални изисквания към съоръженията за експандиране, за разлика от перлита, където поради високите температури те трябва да са термоустойчиви със специална облицовка (футеровка) и уплътнения, които усложняват изпълнението и оскъпяват тези съоръжения.

Така установените предимства на предложения нискотемпературен метод, сравнен с технологията за получаване на перлит и някои други изкуствени насипни материали, откриват нови перспективи за проучвания в областта на леките добавъчни материали, част от които са и целите на настоящата разработка.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТВАНЕ НА СЪСТАВИ ЗА ИЗКУСТВЕНИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

3.1. ПОДБОР И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ОСНОВНИТЕ ИЗХОДНИ СУРОВИНИ И МАТЕРИАЛИ.

На база на проучвания и експериментална дейност са определени основните изходни суровини за разработване на леки добавъчни материали с определени свойства. Извършен е избор на основните компоненти на сместа за производство чрез експандиране, а именно: натриев метасиликат (водно стъкло) и микросилициев прах, както и всички допълнителни материали (отпадъци от различни производства) с цел получаване на продукти за строителството, решаващи проблеми по отношение опазването на околната среда.

3.1.1. Водно стъкло

Водното стъкло се получава като продукт от реакцията между силициева киселина и натриев или калиев карбонат. Чрез обработка на продукта с 5-10кратно количество вода при високо налягане се получават вискозни разтвори с лепилни качества и плътност ($1270 \div 1920$) kg/m^3 . Химичният му състав се изразява с обща формула: $\text{Na}_2\text{O} \cdot M \cdot \text{SiO}_2$, където M е молекулното съотношение (силикатен модул) на стъклото - $M = \text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$. Разтворите от водно стъкло с малък модул имат слаби лепилни свойства и обратно, с голям модул - имат добри лепилни свойства.

Основните суровини за получаването му са сода или поташ и кристален или аморфен силициев диоксид, като най-използван е карбонатния метод за производство. Базира се на взаимодействието на алкален карбонат и силициев диоксид при висока температура (за модул над 3 - до 1500°C , а за по-малък - $1300 \div 1500^\circ\text{C}$).

Водното стъкло е пожаробезопасно, не е токсично и не отделя газове.

За настоящите изследвания е използвано натриево водно стъкло с модул $M=2,47$ (Протокол №186/05.11.01г. от Акредитирана лаборатория към НИИСМ ЕООД) по БДС 2284:1974 [34, 35]

3.1.2. Микросилициев прах

Микросилициевият прах принадлежи към групата на активните минерални добавки. Получава се като финодисперсен отпадъчен продукт от производството на феросилициеви или фероманганни сплави (над 6000 t/годишно). Използван е микросилициев прах, отпадък от феросилициевото

металургично производство на МК"Кремиковци" (изследванията са провеждани през 2005г.) със следните характеристики:

- обемна плътност - 220 kg/m³;
- специфична плътност - 2200 kg/m³;
- химичен състав – съгласно Табл. 3.1.

Таблица 3.1

Si ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	З.Н.
83,25	3,84	1,01	1,39	1,90	1,20	0,92	3,49	2,35	2,06

Микросилициевият прах е съставен основно от силициев диоксид в аморфна форма и размер на частиците със сферична форма приблизително 1µm.

Методите за изпитване и оценяване на съответствието са представени в стандартите БДС EN 13263-1,2:2005+A1:2009 [36].

3.2.ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОПЪЛНИТЕЛНИТЕ КОМПОНЕНТИ

Анализирани са резултатите от проведени научно-технически проучвания [37,38] по отношение на получаваните количества, химичен състав, зърнометрия и др. характеристики на вторични продукти от различните промишлени производства в страната. (Табл.3.2.).

Таблица 3.2.

№	Вид производство, съпътстващ продукт	Мярка	Количества годишно *	Депонирани количества
1.	Топлоенергетика-пепели от ТЕЦ	Хил.тона	6000	50 000
2.	Добив и обогатяване на въглища - едър отпадък	Хил.тона	1700	-
3.	Преработка на руди - флотационен отпадък (стерили) от обогатителни фабрики	Хил.тона	над 1000	-
4.	От черната металургия - отпадък от производство на феросилициеви сплави	Хил.тона	6000	-
5.	Промисленост за строителни материали - отпадъци от обработката и производството на скални и облицовъчни материали	Хил.тона	10÷15	-
6.	Отпадъци от дърводобив и дърво-преработване	m ³	над 20000	-

* Количествата са приблизителни

- Най-големи количества отпадни продукти се получават от топлоенергетиката - пепели и сгурии от ТЕЦ. Максимално е изяснена

тяхната технологична пригодност за употреба в строителството и при производството на строителни материали (БДС EN 450-1:2012).

- От добива и обогатяването на черни и кафяви въглища също отпадат големи количества годишно, като техните характеристики са до голяма степен изяснени и постоянни.
- Отпадъците от обогатяването на руди, т. нар. "стерили" (флотационен отпадък от обогатителните фабрики), също са изследвани и могат да намерят приложение в производството на строителни материали и изделия;
- Количествата отпадни продукти от производството и обработката на скални и облицовъчни материали предполагат нови насоки за тяхното използване след допълнителна обработка;
- Вторичните продукти от дърводобива и дървопреработването (кори, стърготини и др.), също са проучвани за прилагане в производството на различни видове композитни материали. При тях задължително се налага допълнителна подготовка (раздробяване и т.н.) преди влагането им в строителните състави.

Проучвайки съпътстващите продукти от различни промишлени производства [37,38] и съпоставяйки ги с използването на подобни продукти в други страни са подбрани няколко материала - органични (полимери, дървесни отпадъци), неорганични (микросфери от пепели от ТЕЦ, силициев диоксид, отпадъчно стъкло, отпадъци от производство на мозаечни плочи, флотационни отпадъци (стерили) от обогатителни фабрики) за първоначални изследвания в състава на композитни смеси.

На база проучванията на отпадъците от промишлеността и селското стопанство у нас са определени два типа, като са подбрани такива, чиито количества са най-големи.

3.2.1.Отпадъци на минерална основа:

- пепели от ТЕЦ (сфери);
- флотационни отпадъци (стерили) от обогатителни фабрики от рудодобивната промишленост;
- отпадъци от металургията – черна и цветна;
- отпадъци от производството на мозаечни плочи и др.

3.2.2.Отпадъци на органична основа:

- отпадъчни кори, изрезки, талаш от дървопреработвателната промишленост;
- отпадъчни стебла от селското стопанство;
- полимерни материали от химическата промишленост (прахообразен полиетилен и т.н.) и др.

За някои от отпадъчните продукти се налага допълнително раздробяване или смилане (отпадъци от дървопреработването и производството на мозаечни плочи).

3.3.ОПРЕДЕЛЯНЕ ВИДА НА НОСИТЕЛЯ

Съгласно последователността на технологичните процеси за получаване на леки добавъчни материали по разработения метод, при етапа на механично раздробяване на получения полуфабрикат се добавят допълнителни материали, т.нар.“носители“. Това са прахообразни материали с минерален произход, избирани в зависимост от свойствата, които са заложили за получаване на крайния продукт, т.е. носителите - това са веществата, придаващи основни характеристики на получавания краен продукт. Те се разделят на два вида:

3.3.1.Активни носители

Активните носители са вещества, които влизат в химични реакции по време на експандирането и заедно с основните компоненти на сместа образуват нови минерали (силикати) , както и пресичане на водното стъкло по повърхността на фракциите на материала. Предизвиква се образуването на трудно водопроницаеми силикати.

Такива активни материали са цимент, вар, гипс, доломит, зеолит и др.

3.3.2.Пасивни носители

Активните носители са вещества, които влизат в химични реакции по време на експандирането и заедно с основните компоненти на сместа образуват нови минерали (силикати) , както и пресичане на водното стъкло по повърхността на фракциите на материала. Предизвиква се образуването на трудно водопроницаеми силикати.

Такива активни материали са цимент, вар, гипс, доломит, зеолит и др.

3.4. ДРУГИ МАТЕРИАЛИ, ВКЛЮЧЕНИ В ИЗСЛЕДВАНИЯТА

3.4.1. Ненаситена ортофталична полиестерна смола - “Азастрал 60”, производител фирма “Ай Си Ти”, САЩ

Технически характеристики, съгласно представен сертификат

3.4.2. Епоксидна смола - АП-1, производство на "ЛАКПРОМ" АД

Епоксидна смола "Епокса АП-1" – модифицирана. Може да се използва за строителни изолации, самостоятелно или с добавка на подходящи пигменти и активни пълнители: кварцово, порцеланово или стъклено брашно, каолин, талк, метален прах и др. Преди употреба се смесва с втвърдител за епоксидна смола.

Технически характеристики, съгласно представен сертификат

3.4.3. Минерални оцветители

Използвани са следните неорганични оцветители: жълт;червен и черен.

Железооксидните неорганични пигменти са подходящи за оцветяване на строителни продукти. Микронизирани са и лесно се диспергират, могат да се смесват помежду си и притежават висока стабилност в рамките на обозначената максимална температура.

3.5. ПОДБОР НА ПОДХОДЯЩИТЕ СУРОВИНИ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПЪРВОНАЧАЛНИТЕ КОМПОЗИТНИ СМЕСИ (СЪСТАВИ)

От проучените отпадъчни продукти са подбрани шест разновидности, които са вложени като допълнителни компоненти към приготвени пробни състави от основната смес от водно стъкло и микросилициев прах. Те са обработени по предложената технология и са експандирани при различни температури в диапазон (300÷800)°C.

След предварителна подготовка и определяне на някои основни показатели на изходните суровини бяха определени 6 композитни състави със следните кодови наименования- КС-1 ÷ КС-6.

1. *Лек добавъчен материал от Композитен състав 1(КС-1):* на база отпадък от черната металургия;
2. *Лек добавъчен материал от Композитен състав 2(КС-2):* на база отпадък от производството на мозаечни плочи. За използването на този отпадък се налага допълнително раздробяване до подходяща едрина;
3. *Лек добавъчен материал от Композитен състав 3 (КС-3):* на база промишлен отпадък от цветната металургия (от производството на мед)-обработен фаялит;
4. *Лек добавъчен материал от Композитен състав 4 (КС-4):* на база минерализирани органични отпадъци от дървопреработвателната промишленост. Допълнително са обработени изходните продукти за достигане

на необходимата едрина;

5. *Лек добавъчен материал от Композитен състав 5 (КС-5):* на база флотационен отпадък (стерили -при преработката на медни руди) от обогатителна фабрика (Асарел) от рудодобивната промишленост;

6. *Лек добавъчен материал от Композитен състав 6 (КС-6):* на база отпадък от феросилициевото производство, в четири разновидности: при различна степен на напълване на матрицата (съотношение на компонентите) и различни условия на отлежаване и експандиране.



Фиг. 3.1. Леки добавъчни материали от Композитни състави КС-1÷6

ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОЛУЧЕНИТЕ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ, РАЗТВОРИ И БЕТОНИ

4.1.ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

След експандиране по разработения метод при температури в диапазон $(200\div 800)^{\circ}\text{C}$ на подготвените композитни състави са получени леки добавъчни материали с различна едрина (дребна и едра фракции), които са изследвани по съществуващите към 2003-2004г. изисквания за пясък с $D_{\max} \leq 5 \text{ mm}$ и за едър добавъчен материал с $D_{\max} > 5 \text{ mm}$.

4.1.1. Лек добавъчен материал от Композитен състав 1 (КС-1): омпонентите на композитен състав КС-1 включват отпадък от черната металургия.

След експандиране по описания метод е получен гранулат като дребна фракция (КС-1-Д) и едра фракция (КС-1-Е) и са определени следните по-важни показатели (Табл.4.1).

Таблица 4.1

№	Показател	Мярка	КС-1-Д	КС-1-Е
1.	Обемна плътност при естествена влажност	kg/m ³	457	246
2.	Обемна плътност в сухо състояние	kg/m ³	435	227
3.	Влажност по маса	%	2,04	6,38
4.	Водопопиваемост (абсорбция на вода)	%	24,0	46,0
5.	Коефициент на топлопроводност	W/m.K	0,072	0,051
6.	Якост на натиск	MPa	-	0,68
7.	Пресевен анализ: преминало количество през сито с отвор, в mm	%	2,50 - 96,40 1,25 - 60,00 0,63 - 26,80 0,315 - 16,40 0,16 - 12,40	20,0 - 88,20 10,0 - 46,80 5,00 - 15,60 2,50 - 2,40 1,25 - 2,00 0,063 - 1,80

4.1.2. Лек добавъчен материал от Композитен състав 2 (КС-2): в композитния състав КС-2 е вложен отпадък от производството на мозаечни плочи.

Получена е едра фракция $5\div 20 \text{ mm}$ (КС-2-Е) и са определени:

- Обемна плътност при естествена влажност- 850 kg/m³;
- Водопопиваемост (абсорбция на вода) -0,1%;

- Якост на натиск - 8,6 МПа.

Направен е рентгено-структурен анализ и е определен минералният състав на продукта: кварц, силициево-натриеви силикати, аморфна фаза, циментни минерали.

4.1.3. Лек добавъчен материал от Композитен състав 3 (КС-3): в композитния състав КС-3 е с участие на промишлен отпадък от цветната металургия - обработен фаялит.

Получен е дребен добавъчен материал (КС-3-Д), на който са определени следните характеристики:

- Обемна плътност -1758 kg/m³;
- Влажност по маса - 0,03%;
- Модул на едрина (финост) FM = 2,26

4.1.4. Лек добавъчен материал от Композитен състав 4 (КС-4): в състава на КС-4 са включени минерализирани органични отпадъци от дървопреработвателната промишленост.

По приложения метод на експандиране са получени дребна (КС-4-Д) и едра (КС-4-Е) фракции, на които са определени следните показатели (Табл.4.2.)

Таблица:4.2.

№	Показател	Мярка	КС-4-Д	КС-4-Е
1.	Обемна плътност при естествена влажност	kg/m ³	683	457
2.	Обемна плътност в сухо състояние	kg/m ³	633,7	440
3.	Водопопиваемост (абсорбция на вода)	%	-	35,8
4.	Якост на натиск	МПа	-	1,82
5.	Коефициент на топлопроводност	W/m.K	0,050	0,030
6.	Пресевен анализ: преминало количество през сито с отвор, в mm	%	2,50 - 99,50 1,25 - 32,68 0,63 - 7,30 0,315 - 6,60 0,16 - 6,24	20,0 - 99,30 10,0 - 94,90 5,00 - 9,70 2,50 - 1,90 1,25 - 0,90

На база рентгено-структурен анализ е определен минералният състав на получения гранулиран материал: кварц, калциеви и натриеви силикати, аморфна органична фаза, стъклена неорганична фаза, циментни минерали.

4.1.5. Лек добавъчен материал от Композитен състав 5 (КС-5): изпълнен е с включен флотационен отпадък (стерили-при претаботката на медни руди) от обогатителна фабрика (Асарел) от рудодобивната промишленост.

Получен е едър добавъчен материал (КС-5-Е) с едрина на зърната $5 \div 15$ mm и са определени са следните показатели:

- Обемна плътност - 577 kg/m^3 ;
- Водопопиваемост (абсорбция на вода)- 1,5%;
- Якост на натиск - 5,6 МПа.

Направен е рентгено-структурен анализ и е определен минералният състав на гранулата както следва: кварц, калциеви и натриеви силикати, стъклена фаза, фелдшпати, циментни минерали.

4.1.6. Лек добавъчен материал от Композитен състав 6 (КС-6): в състава на КС-6 е включен отпадък от феросилициевото производство, като са получени едра и дребна фракции при различна степен на напълване (съотношение на компонентите) и различни условия на отлежаване и експандиране.

➤ Състави с еднакво съотношение на основните компоненти, но с различна температура на отлежаване и експандиране (Табл.4.3).

Таблица: 4.3

№	Показател	Мярка	КС-6-1	КС-6-2
1.	Обемна плътност	kg/m^3	220	140
2.	Водопопиваемост (абсорбция на вода)	%	25,8	36,0
3.	Якост на натиск	МПа	0,68	0,68
4.	Гранули с размери	mm	0,16-20	0,16-20

➤ Състави с еднакви условия на отлежаване и експандиране, но с различно съотношение на основните компоненти.(Табл. 4.4).

Таблица:4.4.

№	Показател	Мярка	КС-6-1	КС-6-3	КС-6-4
1.	Обемна плътност	kg/m^3	220	426	220
2.	Водопопиваемост (абсорбция на вода)	%	25,8	22,0	26,2
3.	Якост на натиск	МПа	0,68	1,29	0,68
4.	Гранули с размери	mm	$0,16 \div 20$	$0,16 \div 2,5$	$0,16 \div 20$

➤ Лек добавъчен материал от Композитен състав КС6-5, с добавени пигменти (КС-6-5/1-червен; КС-6-5/2-жълт) - едра фракция Табл. 4.5).

➤ **Таблица:4.5**

№	Показател	Мярка	КС-6-5/1	КС-6-5/2
1.	Обемна плътност в естествено състояние	kg/m ³	291	289
2.	Обемна плътност -суха	kg/m ³	266	268
3.	Влажност по маса	%	0,4	0,9
4.	Водопопиваемост (абсорбция на вода)	%	23,3	21,3
5.	Коефициент на топлопроводност	W/mK	0,054	0,063
6.	Гранули с размери	mm	5÷20	5÷20

На база рентгено-структурен анализ е определен минералният състав на получения гранулиран материал: кварц, калциеви, натриеви и желязни силикати, аморфна фаза, циментни минерали.

4.2. РАЗТВОРИ, БЕТОНИ И ПРОДУКТИ НА БАЗА НОВИ ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ

4.2.1.Циментово-пясъчни разтвори на база лек добавъчен материал от композитен състав КС-1-Д (отпадък от черната металургия):

Изпитани са и окачествени по съответните стандарти -БДС EN 13055-1[40] и серия стандарти БДС EN 1015 (Табл. 4.6).

Таблица:4.6

№	Показател	Мярка	I-ви с-в (Ц:ДМ=1:1)	II-ри с-в (Ц:ДМ=1:0,75)
1.	Обемна плътност на разтворна смес	kg/m ³	1315	1432
2.	Обемна плътност на втвърден разтвор	kg/m ³	1160	1218
3.	Якост на опън при огъване	N/mm ²		
	- на 7 ден		1,40	2,63
	- на 28 ден		1,76	4,37
4.	Якост на натиск	N/mm ²		
	- на 7 ден		11,25	10,21
	- на 28 ден (Rc=0,4÷20)		14,67	14,20
5.	Коефициент на топлопроводност	W/m.K	0,110	0,135

4.2.2. Цименто-пясъчен разтвор на база лек добавъчен материал от композитен състав КС-3 (отпадък от цветната металургия):

Изпитан и окачествен по съответните стандарти - БДС EN 13055-1:2004/NA:2013 БДС EN 13139:2004; БДС EN 998-1,2:2010 серия стандарти БДС EN 1015 (Табл.4.7). [40,41,42].

Таблица:4.7

№	Показател	Мярка	Цименто-пясъчен р-р Ц:П = 1:1
1.	Консистенция	mm	61
2.	Обемна плътност втвърден разтвор	kg/m ³	1935
3.	Якост на опън при огъване	N/mm ²	
	- на 3 ден		2,75
	- на 7 ден		3,77
	- на 28 ден		4,60
	- след водопоглъщане до постоянна маса		6,44
	-изсушаване след водопоглъщане до постоянна маса		6,28
4.	Якост при натиск	N/mm ²	
	- на 3 ден		10,40
	- на 7 ден		14,21
	- на 28 ден		26,26 (M20)
	- след водопоглъщане до постоянна маса		17,47
	-изсушаване след водопоглъщане до постоянна маса		30,25
5.	Водопоглъщане (абсорбция на вода) до постоянна маса	%	12,66
6.	Коефициент на размекване $K_p = R_{вп}/R_c$	-	0,67
7.	Коефициент на водоустойчивост $K_v = K_{с,вп}/K_c$	-	1,16
8.	Съсърхване, mm/m	%	0,039

4.2.3. Лек бетон на база лек добавъчен материал от композитен състав КС-4-1(Е/Д) (отпадък от дървообработвателната промишленост):

На база двете фракции е подготвен бетон с цимент CEM II/B-M32,5R и изпитан по БДС 6387-82 , БДС EN 992 и БДС EN 1354 [43,44,45] , серия стандарти за изпитване на бетон: БДС EN 12350; БДС EN 12390 и окачествен, както следва (Табл.4.8):

Таблица 4.8

№	Показател	Мярка	Лек бетон	Технически изисквания за леки бетони
1.	Обемна плътност	kg/m ³	895	<2000
2.	Якост на натиск	N/mm ²	2,63	2,0÷35
3.	Коефициент на топлопроводност	W/mK	0,169	<0,18

4.2.4. Лек бетон на база лек добавъчен материал от композитен състав КС-6-1 (отпадък от феросилициевото производство):

За получаването му е използван СЕМ II/B-M32,5R при количество Ц=220 kg/m³. Основните характеристики са представени в Табл.4.9.

Таблица 4.9

№	Показател	Мярка	Лек бетон	Технически изисквания за леки бетони
1.	Обемна плътност	kg/m ³	580	<2000
2.	Якост на натиск	N/mm ²	2,1	2,0÷35
3.	Коефициент на топлопроводност	W/mK	0,143	<0,18

4.2.5. Полимербетони на база лек добавъчен материал от композитен състав КС-6-5 (отпадък от феросилициевото производство):

На база получения лек добавъчен материал КС-6-5 с оцветители и добавка на перлит и отпадъци от дървообработващата промишленост са изготвени пробни тела (кубчета с размери 100/100/100mm) с матрица от епоксидна и полиестерна смола.

Таблица:4.10

№	Показател	Мярка	КС-6-5/ ЕП	КС-6-5/ ЕПД	КС-6-5/ ПП	КС-6-5/ ППД
1.	Обемна плътност в естествено състояние	kg/m ³	664	685	809	811
2.	Обемна плътност в сухо състояние	kg/m ³	664	684	805	809
3.	Якост на натиск	N/mm ²	7,00	5,02	5,92	6,96
4.	Водопопиваемост (абсорбция на вода)	%				
	-по маса		1,58	1,80	6,85	4,18
	-по обем		1,10	1,26	5,63	3,44
5.	Коефициент на топлопроводност ($\lambda \leq 0,18$)	W/mK	0,103	0,132	0,130	0,142
6.	Устойчивост на ГСМ и вибрации	визуал-но	издър-жа	издър-жа	издър-жа	издър-жа

4.2.6. Продукти на база леки добавъчни материали –трислойни плочи

На база на получения лек добавъчен материал от композитен състав КС-6-5, полиестерна и епоксидна смоли са изработени трислойни олицовъчни (декоративни) топлоизолационни плочи. с размери 400/400/50mm, като слоевете са: перлитобетон и горен слой релефен полимербетон с оцветен лек добавъчен материал.

Използвани са пигменти на минерална основа – с червен, жълт и черен цвят.

В Табл. 4.11. са представени характеристиките на изготвените и изпитани плочи.

Таблица 4.11.

№	Показател	Ч-Е	Ч-П	Ж-Е	Ж-П	ЧН-Е	ЧН-П
1.	Обемна плътност, kg/m ³	815	986	869	892	784	894
2.	Абсорбция на вода, %						
	- за 1 min	6,27	4,85	6,07	6,05	5,84	4,44
	- за 24 h	18,73	17,66	23,00	18,08	21,91	20,29
3.	Коефициент на топлопроводност	0,116	0,165	0,187	0,182	0,159	0,153

4.3. ИЗСЛЕДВАНЕ И ПОЛУЧАВАНЕ НА ОСНОВЕН КОМПОЗИТЕН СЪСТАВ ЗА ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ НА БАЗА НА РАЗЛИЧНИ УСЛОВИЯ НА ЕКСПАНДИРАНЕ

На база на получените стойности е определен един основен композитен състав (КС- О), който включва компонентите на експериментален състав КС-6. Основният композитен състав е с установено съотношение на използваните суровинни компоненти и са извършени допълнителни изследвания за определяне на оптимални параметри на експандиране.

Основният композитен състав КС-О е подготвен, в съответствие с методиката за получаване на полуфабрикат при нормална температура на отлежаване (23 °С). Втвърденият материал е раздробен и смлян, като са обособени фракции: 0,5÷1,25 mm; 1,25÷2,5 mm; 2,5÷5,0 mm; 5,0 ÷10,0 mm.

Използваната технология на експандиране е чрез стационарно подгриване при съответната температура, което протича до 3h и последващо постепенно охлаждане на получения гранулат до 23°С. За получаване на достатъчно статистически данни и тяхното последващо интерпретиране експандирането на подготвените фракции е извършено при следните температури: 200°С, 300°С, 400°С и 500 °С в лабораторна електрическа муфелна пещ с обхват от

(150÷1400) °C.

Експандирането е извършено в среда на активен носител – портландцимент.



Фракция 0,5÷1,25 mm



Фракция 1,25÷2,5 mm



Фракция 2,5÷5,0 mm



Фракция 5,0÷10,0 mm

**Фиг.4.8. Нов лек материал по фракции, експандиран
при температури 200 °C÷ 500 °C**

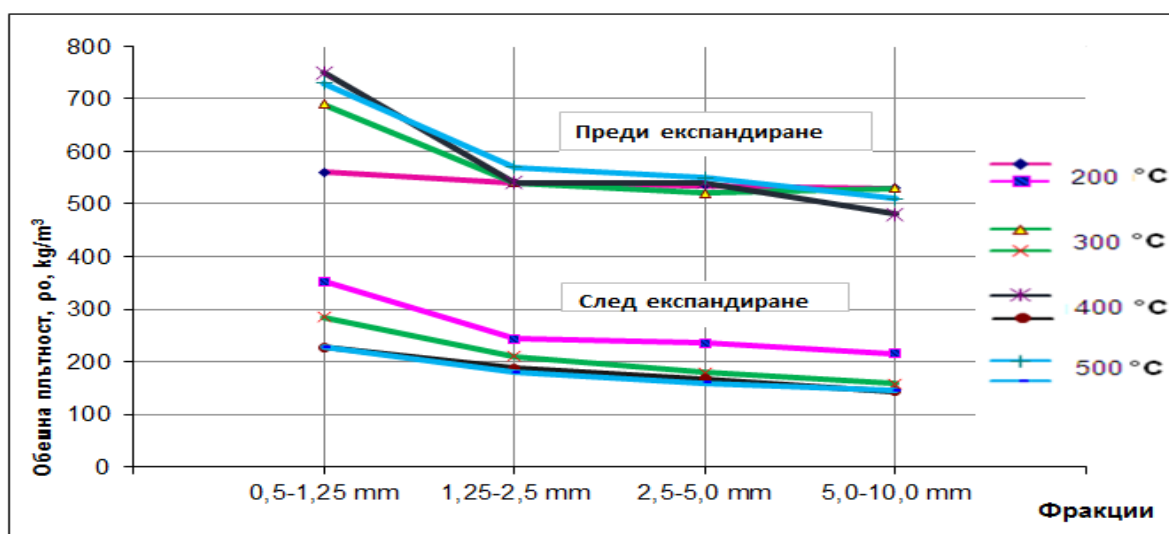
Анализ и оценка на получените резултати за леки добавъчни материали от основен композитен състав (КС-О)

Получените фракции са изследвани в няколко направления с оглед съчетаване на ниска обемна плътност, ниска температура на експандиране и висок коефициент на експандиране за получаване на съответен фракционен състав.

За тази цел са изготвени диаграми, представяйки следните зависимости:

1. Зависимост между обемна плътност на фракции на КС-О, експандирани при различни температури (Графика 4.9).

Графика 4.9.

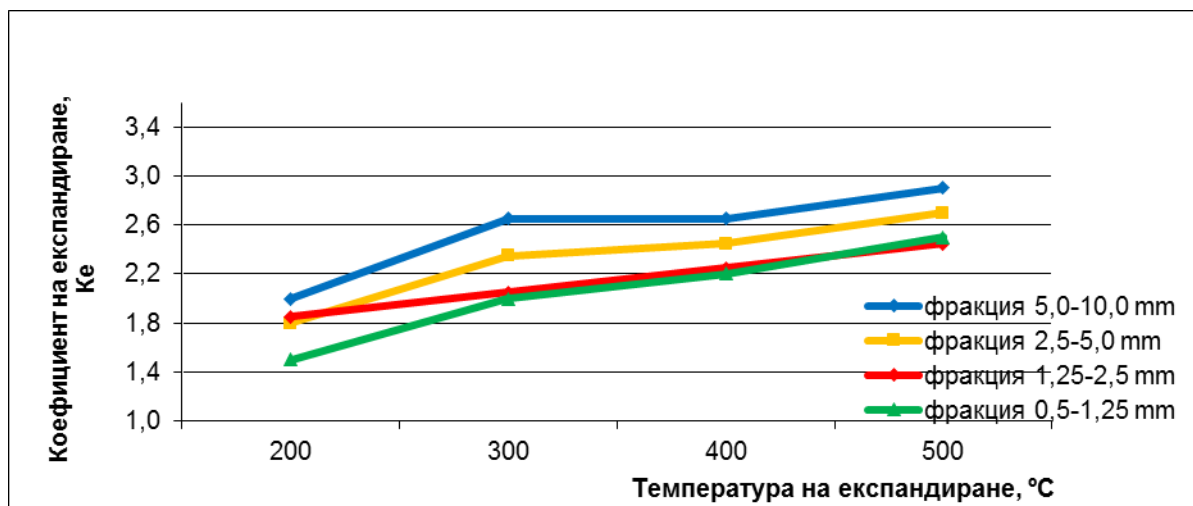


На база на изразените графични зависимости между обемна плътност и температура на експандиране може да се направи обобщението, че най-добри резултати (ниска плътност) са получени при температури на експандиране в границите на 400 °C и 500 °C. Стойностите са сравнително близки, което дава основание да се предпочете по-ниската температура на експандиране около 400 °C, с оглед намаляване на разходите.

2. Зависимост между коефициент на експандиране и температура на експандиране по фракции (Графика 4.10).

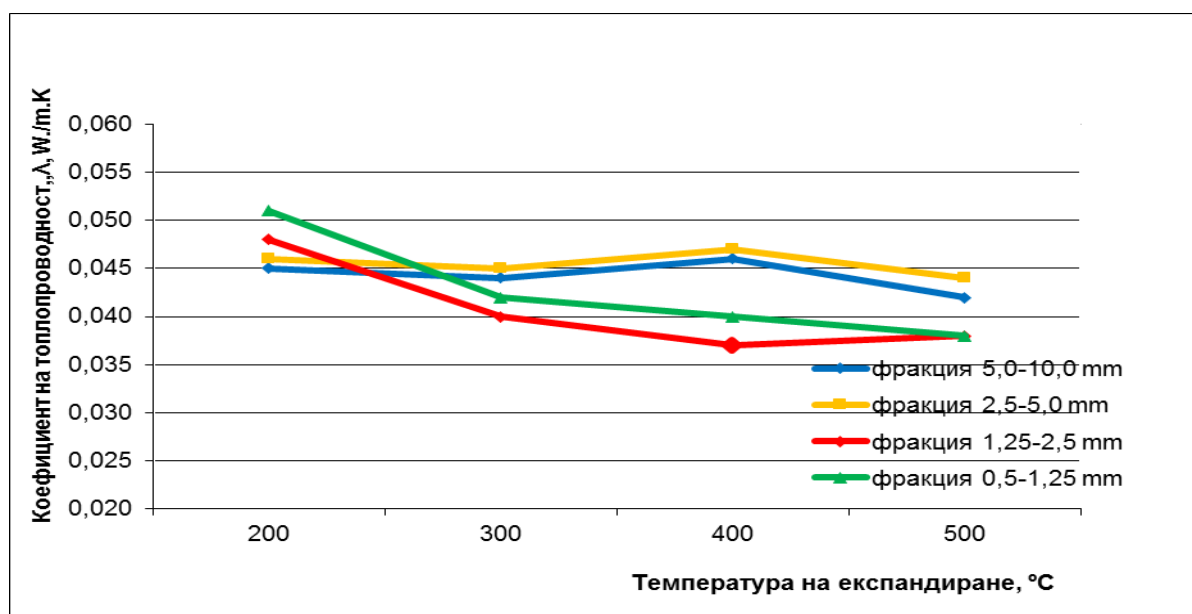
При сравнителен анализ на данните от графиката (Графика 4.10) може да се обобщи, че за изследвания композитен материал по фракции на експандиране, коефициентът на експандиране е най-висок при температура на експандиране около 500 °C. Резултатите при температура на експандиране около 400 °C са сравнително близки и равномерно увеличаващи се с тези при температура в границите на 500 °C.

Графика 4.10.



3. Зависимост между коефициент на топлопроводност, λ и температура на експандиране по фракции (Графика 4.11).

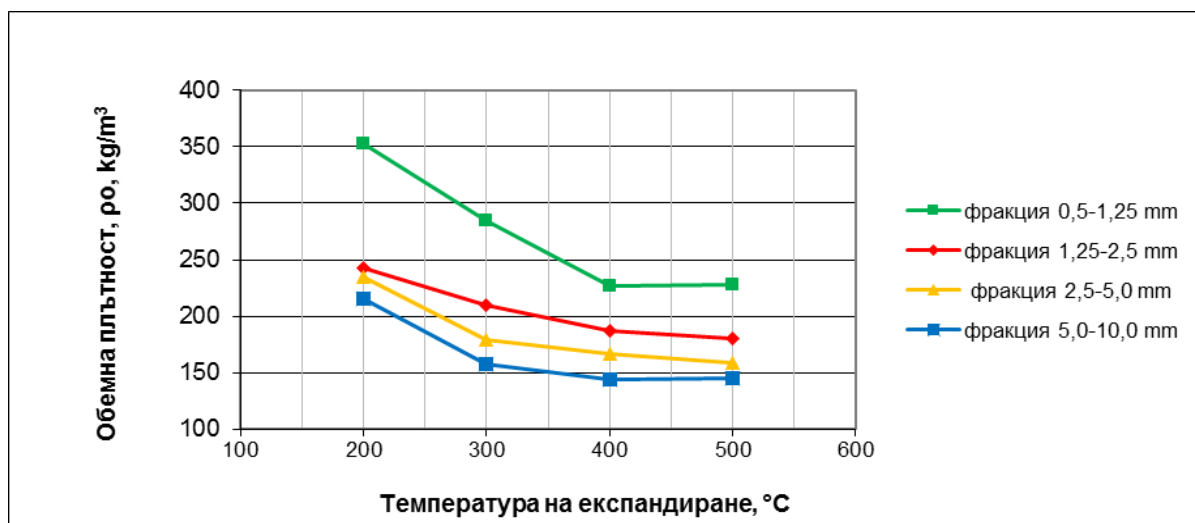
Графика 4.11.



Както при предишните сравнителни анализи и при тази графична зависимост установяваме ниски стойности на коефициента на топлопроводност при по-високите температури на експандиране (400 $^{\circ}\text{C}$ и 500 $^{\circ}\text{C}$) на отделните фракции от новия лек добавъчен материал. Като по-близки стойности за коефициента на топлопроводност (λ), получени за всички фракции са при температура на експандиране около 500 $^{\circ}\text{C}$.

4. Зависимост между обемна плътност и температура на експандиране по фракции (Графика 4.12).

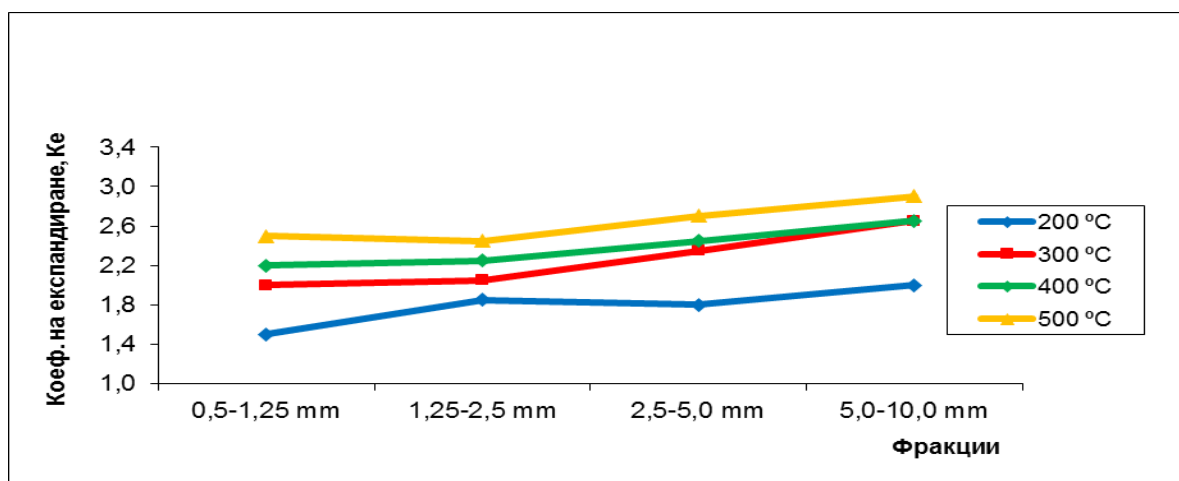
Графика 4.12.



При анализ на получените графични зависимости за отделните фракции се установи, че по-дребните фракции са с по-голяма стойност на обемната плътност при различните температури на експандиране, като с увеличаване на температурата на експандиране се намалява и разликата в стойностите на обемната плътност след експандиране.

5. Коефициент на експандиране за различните фракции при определени температури на експандиране (Графика 4.13).

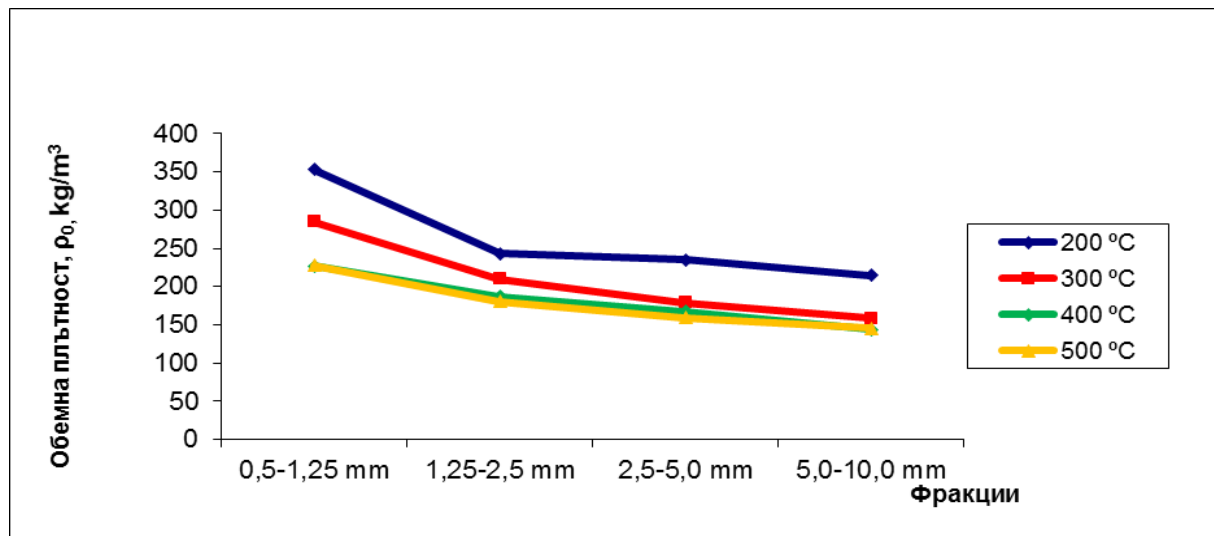
Графика 4.13.



На база на резултатите от експандиране на отделните фракции се налага обобщението, че най-равномерно нараства коефициента на експандиране при всички фракции при температури на експандиране в границите на 400 $^{\circ}\text{C}$ и 500 $^{\circ}\text{C}$.

6.Обемна плътност за различните фракции при определени температури на експандиране (Графика 4.14).

Графика 4.14.



На база на графичната зависимост може да се обобщи, че резултатите , получени за обемната плътност на всички фракции при температури на експандиране в границите на 400 °C и 500 °C, са най-равномерно намаляващи и много близки по стойности.

Вземайки предвид резултатите от изследванията и извършения анализ на представените графики с оглед на добри показатели и бъдеща икономическа ефективност от намаляване температурата на експандиране, може да се определи композитния състав, получен при температура на експандиране в границите на 400°C.

4.4.РАЗРАБОТВАНЕ И ОПРЕДЕЛЯНЕ ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА СЪСТАВИ ЗА ЛЕКИ БЕТОНИ НА БАЗА ЛЕКИ ДОБАВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ ОТ ОСНОВЕН КОМПОЗИТЕН СЪСТАВ

За извършване на сравнителен анализ на характеристиките на получения лек добавъчен материал на база композитен състав КС-О са подготвени и изпълнени състави за леки бетони, в които са използвани и традиционни леки добавъчни материали (керамзит, перлит), получени по методи чрез експандиране и определения основен композитен състав (КС-О), по който са произведени леки добавъчни материали, чрез експандиране по нискотемпературен метод.

4.4.1.Материали за леки бетони . Изпитвания на основни характеристики

Направени са изпитвания и са определени основни характеристики на използваните изходни материали: цимент, речен пясък, керамзит, перлитов

пясък и нов лек добавъчен материал получен на база основен композитен състав (КС-О) и минерално диабазово брашно.

4.4.2. Проектиране на състави на леки бетони

За проектиране съставите за леки бетони е използвана методиката, представена в [56], както следва:

- 1). *Определяне съотношението между добавъчните материали;*
- 2). *Определяне обема на пясъка в зависимост от изискваната обемна плътност на лекия бетон;*
- 3). *Определяне на количеството на цимент;*
- 4). *Определяне на количеството на водата;*
- 5). *Определяне на количеството на добавъчните материали в $1m^3$ бетон;*
- 6). *Определяне количеството на химическите добавки;*
- 7). *Определяне на оптималния състав(проверка на изчисления състав);*
- 8). *Определяне на обемната плътност на лекия бетон.*

4.4.3. Състави за леки бетони с керамзит като основен лек добавъчен материал

Проектирани са състави за леки бетони с керамзит като основен лек добавъчен материал. Подготвени са и са изпълнени състави в лабораторни условия на база на потвърдения базов състав, като са използвани естествен пясък или перлитов пясък и промяна на количеството на пластификатора (добавка „Лупласт С“, производство на НИИСМ ЕООД), а също и състави с промяна на количеството на цимента. При съставите с перлитов пясък е използвана и въздуховъвличаща добавка „ПОРОЧИНТЕЛ“ на фирма “ADING”, Македония.



Фиг. 4.14. Подготовка на леки бетони с керамзит и естествен или перлитов пясък

4.4.4. Състави за леки бетони с лек добавъчен материал на база на композитен състав КС-О

Проектирани са състави за леки бетони с получения нов лек добавъчен материал от композитен състав КС-О като основен лек добавъчен материал. Подготвени са и са изпълнени състави в лабораторни условия на база на потвърдения базов състав, като са използвани естествен пясък или перлитов пясък и промяна на количеството на пластификатора (добавка „Лупласт С“, производство на НИИСМ ЕООД), а също и състави с промяна на количеството на цимента. При съставите с перлитов пясък е използвана и въздуховъвличаща добавка „ПОРОЧИНТЕЛ“ на фирма „ADING“, Македония.



Фиг. 4.16. Подготовка на леки бетони с нов материал и естествен или перлитов пясък



Фиг. 4.17. Подготовка и изпълнение на бетонни смеси с леки добавъчни материали



Фиг. 4.18. Подготовка и изпълнение на бетонни смеси с леки добавъчни материали

4.4.5. Определяне физико-механични характеристики на втвърдени леки бетони с леки добавъчни материали

Подготвени са пробни образци –кубчета и цилиндри по 6 бр. за всеки състав, които са отлежавали при стандартни условия до 28-дневна възраст. Изпитванията на получените леки бетони от общо 24 състава са извършени, съгласно БДС EN 12390-1, 3, 6:2009. Определени са основни характеристики: обемна плътност на втвърден бетон, якост на натиск и якост на опън при разцепване. Изчислени са средни стойности на изпитаните пробни образци от всеки състав.

4.4.6. Сравнителен анализ на леки бетони, изпълнени с керамзит и нов лек добавъчен материал на база КС-О

В следващата таблица са представени обобщени данни от изпитаните леки бетони с керамзит или нов лек добавъчен материал, получен на база основен композитен състав (КС-О) и е направен сравнителен анализ на резултатите.

Таблица: 4.64.

Сравнителна таблица за физико-механични показатели на лек бетони

№ по ред	Състав на бетон, означение	Обемна плътност, kg/m³		Якост на натиск, N/mm²		Якост на опън, N/mm²	
		С керамзит	С нов материал	С керамзит	С нов материал	С керамзит	С нов материал
A.	С естествен пясък и Ц=300kg+ ДБ =40kg						
1.	Базов състав с пластификатор 0,1%	I 1476	III 1487	I 6,18	III 4,08	I 1,05	III 0,67
2.	Базов състав с пластификатор 0,05%	I-A 1452	III-A 1435	I-A 4,78	III-A 3,71	I-A 0,95	III-A 0,67
3.	Базов състав без пластификатор	I-Б 1508	III-Б 1356	I-Б 5,36	III-Б 3,75	I-Б 0,68	III-Б 0,64
4.	Базов състав нов с пластификатор 0,05%	VII-a 1534	VIII 1529	VII-a 11,6	VIII 6,80	VII-a 1,15	VIII 0,74
Б.	С естествен пясък и Ц=250kg+ ДБ =90kg						
1.	Базов състав нов с пластификатор 0,05%	VII-A 1500	VIII-A 1503	VII-A 9,34	VIII-A 6,78	VII-A 0,88	VIII-A 0,63
2.	Базов състав нов без пластификатор	VII-Б 1521	VIII-Б 1517	VII-Б 9,18	VIII-Б 6,83	VII-Б 0,82	VIII-Б 0,64
В.	С перлитов пясък и Ц=280kg+ ДБ =40kg						
1.	Базов състав с пластификатор 0,1% и въздуховъвличаща добавка	II 757	IV 726	II 2,43	IV 2,31	II 0,58	IV 0,56
3.	Базов състав с пластификатор 0,1% и въздуховъвличаща добавка	II- Б 712	IV- А 751	II- Б 0,98	IV- А. 2,13	II- Б 0,28	IV- А 0,42
4.	Базов състав с пластификатор 0,05% и въздуховъвличаща добавка	II-В 817	IV-Б 793	II-В 2,74	IV-Б 2,28	II-В 0,53	IV-Б 0,51
5.	Базов състав без пластификатор, с въздуховъвличаща добавка	II-A 821	IV-В 732	II-A 2,73	IV-В 1,76	II-A 0,53	IV-В 0,32

Г.	С перлитов пясък и Ц=230kg+ ДБ =90kg						
1.	Базов състав с пластификатор 0,05% и въздуховъвличаща добавка	V-A 802	VI-A 753	V-A 2,59	VI-A 2,34	V-A 0,51	VI-A 0,32
2.	Базов състав без пластификатор, с въздуховъвличаща добавка	V-B 853	VI-B 732	V-B 2,51	VI-B 1,76	V-B 0,57	VI-B 0,30

След анализ на резултатите от проведените изпитвания на състави за леки бетони с керамзит и получен лек добавъчен материал на база композитен състав КС-О са направени следните изводи:

1. За бетони с естествен пясък- с най добри якостни показатели са състави: VII-а с керамзит и VIII – с нов добавъчен материал.

2. За бетони с перлитов пясък- с най добри якостни показатели са състави: II-B с керамзит и IV-B– с нов добавъчен материал.

В заключение може да се подчертае, че получените леки добавъчни материали на база използване на вторични отпадни продукти са със съпоставими показатели в сравнение с традиционно произвежданите леки добавъчни материали и могат да бъдат конкурентно способни. (Табл. 4.65)

Таблица: 4.65.

№ по ред	Вид материал/ изделие	Обемна плътност, kg/m ³	Якост на натиск, N/mm ²	Температура на експандиране, °C	Коефициент на топлопроводност, W/mK	Водопопиваемост, %
1.	Насипни материали					
1.1	Керамзит фр.10÷20	500÷750	2,5÷3,5	1100÷1140	0,16	15÷25
1.2	Перлит	65÷300	-	1150	0,06÷0,17	300
1.3	КС 1÷6 и КС-О	140÷850	0,68÷8,6	200÷500	0,05÷0,07	0,1÷36
2.	Леки бетони					
2.1	Керамзитобетон	1452÷1534	4,8÷11,6	-	0,35÷0,56	-
2.2	Керамзитоперлитобетон	712÷853	1,0÷2,7	-	-	-
2.3	Леки бетони с естествен пясък от КС-О	1356÷1529	3,7÷6,8	-	0,14÷0,17	-
2.3	Леки бетони с перлитов пясък от КС-О	726÷793	1,8÷2,3	-	-	-

ГЛАВА 5. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Разработеният дисертационен труд не претендира за изчерпателност по такава обширна и актуална тема като производството и използването на леки добавъчни материали в строителството.

Резултатите от проведените изследвания и изпитвания на подготвените и изпълнени композитни състави за нови леки добавъчни материали, както и на получените на тяхна основа разтвори и бетони дават възможност да се формулират изводи, които да дадат насоки за бъдещи изследвания в няколко основни направления.

5.1. ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ

Първоначално поставените цели и задачи в дисертационния труд са постигнати, като от направения анализ на получените резултати, могат да се обобщят следните изводи:

1. Изследваните композитни състави за получаване на леки добавъчни материали с влагане на различни изходни продукти са с постигната обемна плътност от $140 \div 850 \text{ kg/m}^3$ (за леки добавъчни материали от композитни състави с включени отпадъци от черната металургия КС-1 и КС-6 - до 200 kg/m^3).
2. Леките добавъчни материали от композитни състави КС-2 (с включен отпадък от производството на мозаечни плочи) и КС-5 (с включен отпадък от стерили-от преработката на медни руди) се отличават с обемна плътност - до 850 kg/m^3 , но имат висока якост на натиск - до $8,6 \text{ N/mm}^2$ и ниска водопопиваемост - 0,1 до 1,5%.
3. Всички получени леки добавъчни материали от различните композитни състави имат нисък коефициент на топлопроводност - $0,050 \div 0,072 \text{ W/m.K}$, което ги поставя в групата на слабо- и средно- топлопроводните материали. Това определя и някои от областите за приложението им - като насипен топлоизолационен материал за подови и покривни плочи, за панели тип "сандвич", за производство на леки бетони и др.
4. При сравняване на получените при различни температурни режими леки добавъчни материали от композитни състави от КС-6 и КС-О (с включен отпадък от металургията-феросилициевото производство) се наблюдава обратна зависимост между обемната плътност и температурата на експандиране, т.е. с увеличаване на температурата на експандиране се намалява обемната плътност, както и коефициента на топлопроводност (λ).

5. Сравнявайки резултатите от експандитране при ниски температури до 500°C, е определено, че експандирането при температури около 400°C дава най-добри резултати, както по отношение на ниска обемна плътност и коефициент на топлопроводимост, така и по отношение висок коефициент на експандиране.

7. Разработените на база получените леки добавъчни материали от различни композитни състави разтвори и леки бетони са с нисък коефициент на топлопроводимост (под 0,18 W/mK) и добри якостни показатели и могат да се прилагат като топлоизолационни бетони.

8. Получените полимербетони с нови леки добавъчни материали на база КС-6 се характеризират с ниска водопопиваемост, нисък коефициент на топлопроводност, добри якостни показатели и устойчивост на масла, което предполага възможности за използването им в условията на агресивни среди.

5.2. ПРЕТЕНЦИИ ЗА НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

От получените резултати в разработения дисертационен труд, могат да се обобщят следните научни и приложни приноси:

1. Разработени са композитни състави за нови леки добавъчни материали с използване на вторични продукти от различни области на промишлеността при по-ниски енергийни разходи за производство и по-добри топлоизолационни показатели.

2. Доказана е ефективността от използвания метод за получаване на леки добавъчни материали при прилагане на една нова схема на подготовка и първоначално третиране на изходните суровини, както и влагането на вторични продукти като компоненти на състава или пълнители на матрицата, с последващо експандиране при по-ниски температури (до 500°C).

3. Изследвано и доказано е влиянието на температурните режими върху процеса на експандиране и основни характеристики на получените леки добавъчни материали.

4. Установено е влиянието на разработените рецептурни състави с леки добавъчни материали върху физико-механичните характеристики на леките бетони и разтвори.

5. Извършен е анализ на състоянието на производството на леки добавъчни материали с използване на вторични продукти и са установени възможностите за ефективно използване на съществуващи мощности.

С оглед на извършената експериментална работа, обработката и обобщаването на резултатите, считам че са изпълнени поставените цел и задачи на

дисертационния труд.

5.3. АПРОБАЦИЯ НА ДИСЕРТАЦИЯТА (ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА)

Основните резултати от дисертацията са докладвани на следните конгреси, конференции, семинари и др.:

1. Добрева, Ив. Д., Св. М.Чалъкова, „Изследвания върху функционални зависимости между режима на експандиране и физичните характеристики на леки добавъчни материали на база промишлени отпадъци“, Дванадесети международен симпозиум “ЕКОЛОГИЯ 2003“, ISSN 0861 9861 (Том II ,Част 1,стр. 94-98), 2003,Бургас.
2. Добрева, Ив. Д., „Нов вид леки добавъчни материали с използване на отпадъчни продукти“,“ЕКОЛОГИЯ 2004“, ISBN 954-9368-04-1 (Част 2,стр. 242-256),2004, Бургас.
3. Добрева, Ив. Д., „Възможности за приложение на нов вид леки добавъчни материали с използване на отпадъчни продукти“,“ЕКОЛОГИЯ 2005“, ISBN 954 9368 07 6 (Том III , Част 1, стр. 281-286), 2005, Бургас.
4. Добрева, Ив. Д., „Окачествяване на леки добавъчни материали за бетон и разтвор, съгласно новите хармонизирани европейски стандарти“, Юбилейна научна конференция с международно участие ВСУ‘ 2008,29-30 май, ISBN 978-954-331-020-3 (Том 2, стр.VI-48-53), 2008, София.

ГЛАВА 6. НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ

В процеса на разработване на дисертационния труд са формулирани някои насоки, които могат да бъдат обект на бъдещи изследвания по темата.

Основните насоки за продължаване на изследванията на разработените нови леки добавъчни материали по нискотемпературен метод на получаване могат да се развият по отношение решаването на следните проблеми:

1. Резултатите от дисертационния труд са предпоставка за по-нататъшна работа за оптимизиране на композитните състави и технологичния режим на получаване, както и разширяване обхвата на използване на промишлени и други отпадъци за получаване на леки добавъчни материали с подобрени свойства.
2. Възможности за реализиране на състави за леки топлоизолационни бетони с влагане на получените леки добавъчни материали, съгласно новите изисквания за енергийна ефективност в строителството.
3. Възможности за получаване на готови изделия за строителството на базата на използване на новите леки добавъчни материали.
4. Изследвания върху дълготрайността на продуктите, получени на база новите леки добавъчни материали, сравнителна анализ на енергийни разходи и икономическа ефективност в посока на оценка върху екологичния отпечатък.

ЛИТЕРАТУРА

1. Директива 2012/27/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 25 октомври 2012 година Относно енергийната ефективност, за изменение на директиви 2009/125/ЕО и 2010/30/ЕС и за отмяна на директиви 2004/8/ЕО и 2006/32/ЕО.
2. Национален стратегически план за управление на отпадъците от строителство и разрушаване на територията на Р.България за периода 2011-2020г., Министерство на околната среда и водите, София 2011г..
3. Ръководство за управление на строителните отпадъци на територията на Република България, Министерство на околната среда и водите,София, 2014.
4. Закон за управление на отпадъците, обн., ДВ, бр. 53 от 13.07.2012 г., в сила от 13.07.2012.
5. НАРЕДБА № 2 от 23.07.2014 г. за класификация на отпадъците, издадена от министъра на околната среда и водите и министъра на здравеопазването, обн., ДВ, бр. 66 от 8.08.2014.
6. Майзель И.Л., Сандлер Ф.Г. Технология теплоизоляционных материалов, "Высшая школа", Москва, 1988.
7. БДС 7567:1988 Пълнители неорганични, порьозни за строителството. Керамзит и шистопорит.
8. Горяйнов К. Э. и др. Технология теплоизоляционных материалов и легких бетонов, Изд. лит. по строительстве, Москва, 1966.
9. Ицкович С.М. Заполнители для бетона, Изд. "Вышшая школа", Минск, 1972.
10. Петков В.Д., В.Г.Костова Леки бетони, Д.И."Техника", София, 1973.
11. Димитриев А. Нови строителни материали, София, 1984.
12. Горлов, Ю.П. под редакции,С.Г.Васильков, С.П.Онацкий, М.П.Елинзон и др, Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе, Справ.пособие, Москва, Стройиздат, 1987.
13. Жуков, А.В. Искусственные пористые заполнители из горных пород, Киев, 1962, Госиздательство литературы по строительству и архитектуре УССР, стр. 24-28.
14. Коларова, М.Н. Леки добавъчни материали за бетон. Керамзит и шистопорит, ДИ"Техника",София, 1979.
15. Григорович, М.Б., Немировская М.Г. Минеральное сырье для получения заполнителей легких бетонов, Москва, изд."Недра", 1983.
16. Елинзон М.П. Производство искусственных пористых заполнителей, Издание 2-е,перераб. и доп. М.,Стройиздат, 1974.
17. Кальянов Н.Н., Мерзляк А.Н. Вермикулит и перлит - пористые заполнители для теплоизоляционных изделий и бетонов, Гос.изд. литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, Москва, 1961.
18. Григорович, М.Б. Геологическая изученность месторождений вспучивающихся вулканических стекол и дальнейшие задачи геологической службы, в кн. Закономерности формирования и

- размещения месторождений вулканического стекла, Москва, 1969, стр.34-38.
19. Будников, П.П. Основы производства вспученного перлита, в кн. Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, Москва, 1969, стр. 115-119.
 20. Токмаков, П.П. Сырьевые ресурсы и использование вермикулита., в кн. Неметаллические полезные ископаемые, связанные с магнезиальными комплексами и вулканизмом, Москва, 1978, стр.103-124.
 21. Елинзон, М.П., Виноградов Б.Н. К вопросу о выборе сырья для производства керамзита и аглопорита. - В кн.: Керамзит и аглопорит как строительный материал, Москва, 1966 г., стр.27-34.
 22. Елинзон, М.П, Васильков С.Г, Попов Л.Н. - Основы производства аглопорита, Москва, Госстройиздат, 1962.
 23. Зайденберг, Б.С., Крупин А.А., Полинковская А.И. Легкие заполнители из обожженных диатомитов и трепелов и свойства бетонов на их основе. - в кн. "Керамзит и аглопорит как строительный материал", Москва, 1966, стр. 131-136.
 24. Крупин, А.А. Использование опаловых кремнистых пород (трепелов и диатомитов) для производства пористых заполнителей бетонов, в кн. Сырьевая база кремнистых пород СССР и их использование в народном хозяйстве, Москва, 1976, стр.69-72.
 25. Харатишвили, И.А., Наназашвили И.Х. Прогрессивные строительные материалы: технология, применение, экономика, Москва, Стройиздат,1987.
 26. Горяйнов, К.Е., Горяйнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий, М.,Стройиздат, 1982.
 27. Сухарев, М.Ф и др. Производство теплоизоляционных материалов , Издание 3-е,перераб. и доп. М.,Вышая школа, 1981.
 28. Комар, А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М. - Технология производства строительных материалов, М.,Вышая школа, 1984.
 29. Спирин Ю.Л. и др. Справочник по производству тепло- и звуко-изоляционных материалов, Стройиздат, Москва, 1975.
 30. Патуроев В.В. Технология полимербетонов, М., СТРОЙИЗДАТ, 1983.
 31. БДС EN 206 :2014 Бетон. Спецификация, свойства, производство и съответствие.
 32. Рыбьв И.А. Строительное материаловедение, Москва, Вышая школа, 2002.
 33. БДС EN 771-4:2011+A1:2015 [Изисквания за блокове за зидария. Част 4: Блокове за зидария от автоклавен газобетон .
 34. Патент за изобретение 64275 В1; Регистров № 104708; Публикувано в бюлетин №8 на 31.08.2004г. "Метод и инсталация за получаване на експандирани продукти".
 35. БДС 2284:1974 Натриев силикат разтвор (водно стъкло) .

36. БДС EN 13263-1,2:2005+A1:2009 Микросилициев прах за бетон. Част 1: Определения, изисквания и критерии за съответствие. Част 2: Оценяване на съответствието.
37. Табакова Н., Захаријева И. Каталог за строителни материали и изделия, издателски център - "Строителство и архитектура", София, 1987.
38. Добрева, И.Д., Терзиева С., Шекерджийска М.В. Кадастър на вторичните суровини в България, намиращи приложение в строителството и промишлеността за строителни материали, НИСМ, София, 1988 .
39. БДС EN 197-1:2011 Цимент. Част 1: Състав, изисквания и критерии за съответствие за обикновени цименти.
40. БДС EN 13055-1:2004 Леки добавъчни материали. Част 1: Леки добавъчни материали за бетон, разтвор и инжекционен разтвор.
41. БДС EN 13139:2004 Добавъчни материали за разтвор.
42. БДС EN 998-1,2:2010 Изисквания за разтвор за зидария. Част 1: Разтвор за мазилка. Част 2: Разтвор за зидане.
43. БДС 6387-82 Бетон с леки добавъчни материали.
44. БДС EN 992:2000 Определяне на плътността в сухо състояние на бетон с леки добавъчни материали и отворена структура.
45. БДС EN 1354:2005 Определяне на якост на натиск на бетон с леки добавъчни материали и отворена структура.
46. Горшков В.С., Осокин А.П., Калитина М.А. Химическая технология полимерминеральных композиционных материалов, Москва, 1998
47. Баженов Ю.М. Бетонполимеры, Москва, Стройиздат, 1983.
48. Михайлов Н.В., Патуроев В.В., Крайс Р. Полимербетоны и конструкции на их основе, Москва, Стройиздат, 1989.
49. Патуроев В.В. Полимербетоны, Москва, Стройиздат, 1987.
50. БДС EN 15564:2012 Готови бетонни продукти. Полимербетон. Изисквания и методи за изпитване.
51. БДС 7567-88 Пълнители неорганични порьозни за строителството. Керамзит и шистопорит.
52. БДС 5659-75 Пясък перлитов набъбнал.
53. БДС 16702-87 Перлит набъбнал. Методи за изпитване.
54. Баженов Ю.М. Мелкозернистые бетоны, Москва, Стройиздат, 1998.
55. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны, Москва, Стройиздат, 1998.
56. Бабачев Г.Н., Колев К.Р. - Леки бетони с промишлени отпадъчни вещества, София, 1986 .
57. Даракчиев, Б.Д., Ив.Ив.Николов, Цв.Г.Абаджиева, Д.Г.Назърски и колектив – Ръководство за упражнения по строителни материали, Изд. "Техника", София, 1990.
58. Chretien, C.G. Matériaux composites a matrice organique., Paris, 1997.
59. Бояджиева Х.И. Композитни материали, Изд. на ХТМУ, София, 2000.
60. Виноградов Б.Н. Петрография искусственных пористых заполнителей, Изда т. литературы по строителство., М., 1972.
61. Роговой, М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики, М., Стройиздат, 1974.

62. Горлов, Ю.П., Еремин Н.Ф., Седунов Б.У. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы, Москва, Стройиздат, 1976.
63. Джикаева, Г.А. Искусственные пористые заполнители из углеродсодержащих отходов грузинской республики и легкие бетоны на их основе, изд."МЕЦНИЕРЕБА", Тбилиси, 1984.
64. Новиков В.У. Полимерные материалы для строительства: Справочник, Москва, Высшая школа, 1995
65. Майзель И.Л., Сухарев М.Ф. Жароупорный теплоизоляционный перлитобетон, Изд. литературы по строительству, Москва, 1965.
66. Бужевич Г.А., Корнев Н.А. Керамзито-железобетон, Изд. литературы по полимербетонам, Москва, Стройиздат, 1977.
67. Бояджиева Х.И. Технология на свързващите вещества, София, 2001.
68. Сербезов С.А. Неформувани огнеупорни материали, Справочник, София, 2001.
69. Вълков П.Б. Строителни материали. Развитие и приложение, изд."Сл.Николов и &", Шумен, 1997.
70. Божков И.А., Н.И.Табакова, И.В.Захариева Справочник за строителни материали и изделия изд."Техника",София,1978.
71. Григорович, М.Б. Диатомит, трепел, опока. Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 21, Москва, Госгеолтехиздат, 1962г.
72. Крупин, А.А. Использование опаловых кремнистых пород (трепелов и диатомитов) для производства пористых заполнителей бетонов. В кн.: Сырьевая база кремнистых пород и их использование в народном хозяйстве., Москва, 1976.
73. Kerkhoff, Beatrix and Siebel, Eberhard, Properties of Concrete with Recycled Aggregates (Part 2), Beton 2/2001,Verlag Bau + Technik, 2001, pages 105 to 108.
74. Кузманов, П.И., Клас на бетона. Контрол и оценка , ISBN 978-954-03-0695-7, изд."Техника"ООД, София, 2011.
75. Engineered Granular Mixes, Chapter 7, NYSDOT Geotechnical Design Manual, June 17, 2013.
76. Brito,Jorge de et al., Recycled Aggregate in Concrete. Use of Industrial, Construction and Demolition Waste-,Monogr./Jorge de Brito,Nabajyoti Saikia– London, Springer, 2013.
77. Neithlath and Hicks, J., Advances in Green Binder Systems, American Concrete Institute, SP-294, ISBN: 087031-844-6, 2013.
78. Бошнаков,Д. Пеностъкло, произведено в модел на разпенваща секция на нова вертикална уредба-основни характеристики и приложение, Годишник на УАСГ, София, том XLVI, св.V, 2013-2014.
79. Lightweight construction materials of highest stability, Karlsruhe Institute of Technology, March 21, 2014.
80. Захариева, Р. Строителните отпадъци като ресурс: Част първа-Изисквания на европейското и националното законодателство за материално оползотворяване, XIV Международна научна конференция ВСУ' 2014,5-6 юни , ISSN 1314-071XX (Том 3, стр.350-355), 2014, София.

81. Захариева, Р. Строителните отпадъци като ресурс: Част втора – предизвикателства пред приложението на рециклираните материали у нас, XIV Международна научна конференция ВСУ' 2014,5-6 юни , ISSN 1314-071XX (Том 3, стр.356-361), 2014, София.
82. PORAVER® X Expanded glass lightweight aggregate, Dennert Poraver GmbH, Gewerbegebiet-Ost, 17 92353 Postbauer-Heng/Germany, Catalog, 01/2015.
83. Proff.Kamran M. Nemati, Aggregates for concrete, article, University of Washington, USA, Winter Quarter 2015.