

БУРГАСКИ ДЪРЖАВЕН УНИВЕРСИТЕТ "ПРОФ. Д-Р АСЕН ЗЛАТАРОВ"

„НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА И ХУДОЖЕСТВЕНО-ТВОРЧЕСКА ДЕЙНОСТ“

ОТЧЕТ

НА

НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРОЕКТ

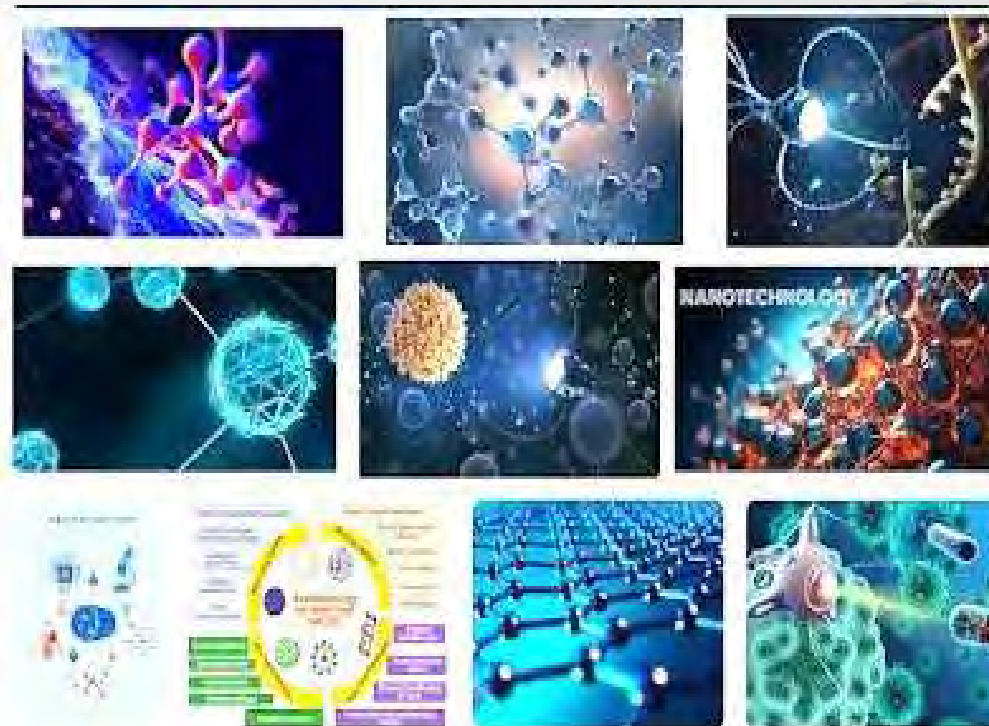
ДОГОВОР № НИХ-498/2024 Г.

**ТЕМА: „ПОЛУЧАВАНЕ, ОХАРАКТЕРИЗИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА
НАНОКОМПОЗИТНИ МАТЕРИАЛИ КАТО АДСОРБЕНТИ ЗА ПРЕЧИСТВАНЕ НА
ОТПАДНИ ВОДИ“**

(ФИНАЛЕН ОТЧЕТ)

РЪКОВОДИТЕЛ НА НАУЧНИЯ КОЛЕКТИВ: ДОЦ Д-Р АДРИАНА ГЕОРГИЕВА

ДЕКЕМВРИ, 2025



НАУЧЕН КОЛЕКТИВ, УЧАСТВАЛ ПРИ ИЗПЪЛНЕНИЕТО НА ПРОЕКТА:

I-ва година

Ръководител:

Доц. д-р Адриана Асенова Георгиева – БДУ „Проф. д-р А. Златаров“, катедра „Химични технологии“

Членове:

1. Гл. ас. д-р Краси Златинова Панайотова – БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
2. Гл. ас. д-р Гургана Петкова Пеева – БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
3. Ас. д-р Ралица Юлианова Колева – БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
4. Д-р Яна Йорданова Мерсинкова – постдокторант при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
5. Инж. Маргарита Анатолиевна Георгиева – редовен докторант по ПН 5.10 към катедра „ХТ“ при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“;
6. Инж. Симеон Емилов Козаров – редовен докторант по ПН 5.10 към катедра „ХТ“ при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“;
7. Инж. Зейнеб Ахмед Ахмед – задочен докторант по ПН 5.10 към катедра „ХТ“ при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“;
8. Анелия Желязкова Стоянова – редовен студент в ОКС „Магистър“ по специалност „Технология на водата“ при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“.

НАУЧЕН КОЛЕКТИВ, УЧАСТВАЛ ПРИ ИЗПЪЛНЕНИЕТО НА ПРОЕКТА:

II-ра година

Ръководител:

Доц. д-р Адриана Асенова Георгиева – БДУ „Проф. д-р А. Златаров“, катедра „Химични технологии“

Членове:

1. гл. ас. д-р Краси Златинова Панайотова – БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
2. гл. ас. д-р Гергана Петкова Пеева – БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
3. ас. д-р Ралица Юлианова Колева – БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
4. гл. ас. д-р Мирослава Ангелова Вълчанова – БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
5. д-р Яна Йорданова Мерсинкова – постдокторант при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“, катедра „Химични технологии“;
6. инж. Маргарита Анатолиевна Георгиева – ЦНИЛ, БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“;
7. инж. Руслан Каръмджов – Редовен докторант по ПН 5.10 към катедра „ХТ“ при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“;
8. Желязко Георгиев Кисов – Редовен студент в ОКС „Магистър“ по специалност „Химично инженерство“ при БДУ „Проф. д-р Асен Златаров“.

ЦЕЛИ И ДЕЙНОСТИ ПРЕЗ ОТЧЕТНИЯ ПЕРИОД, НАУЧЕН ПРИОРИТЕТ

Реализираният проект е в съответствие с приетите от АС при БДУ “Проф. д-р А. Златаров” научни приоритети.

През последните години се повиши интересът към разработването на порести керамични образци, които съчетават предимствата на традиционната керамика с допълнителни функционални свойства, произтичащи от наличието на контролирана порьозност. Порестата структура придава на материала ниска плътност, повишена топлоизолационна способност, добра пропускливост и увеличена специфична повърхност, което отваря възможности за широк спектър приложения - от катализаторни носители и филтрационни системи до биомедицински импланти и енергийно-ефективни технологии.

Целта на реализирания проект бе посредством комбинативен подход, съчетавайки преимуществата на нанотехнологиите и класическите методи от силикатната технология, да се синтезират композитни материали, да се изследват свойствата на същите като нови материали с експликационни характеристики и да се приложат в качеството на адсорбенти за пречистването на отпадни води от различни органични и неорганични замърсители.

НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ

Извлечение от План-програмата:

ПЛАН-ГРАФИК НА ДЕЙНОСТИТЕ						
Етап	Дейности	Продължителност	I-ва година	II-ра година	III-та година	Очаквани резултати от дейността
I етап	Работен пакет 1 – Синтез на нанокompозитни материали от типа графенови структури/керамична матрица по двустадийна технология, основаваща се на твърдофазно спичане с дифузионен характер и колоиден подход. Охарактеризиране на получените композити Изследователски екип: Доц. д-р Адриана Георгиева, гл. ас. д-р Краси Панайотова, докторант Маргарита Георгиева, докторант Симеон Казаров					
	1.1. Извършване на задълбочена литературната справка по посочената научна проблематика, с цел допълване и обогатяване на досега натрупаната информация.	1 месец	1 мес.			Допълване и обогатяване на натрупаната научна информация по изследваната тематика относно: получаването на графен и неговите производни и включването им като нано добавки и пълнители в керамиката;
	1.2. Прецизен подбор на въглеродни материали, които директно да се използват, или да се преобразуват в графенови слоеве.	1 месец	1 мес.			Подбор на най-подходящите изходни суровини и конкретен подход за синтез на графен и неговите производни, като редуциран графенов оксид (RGO), графенов оксид нанокolid (NGO), които да осигурят запазването на уникалните 2D структурни характеристики на графеновите структури и последващото им равномерно разпределение в керамичната матрица;
	1.3. Закупуване на необходимите за целите на проекта реактиви и материали, апаратура и оборудване, консумативи и информационни продукти, пряко свързани с изпълнението на дейности по проекта.	1 месец	1 мес.			Реактиви и материали – графит и др., механична таблетна преса (за таблетизиране/полусухо формуване на керамичните матрици) и прецизна везна (за измерване и определяне плътността на керамичните образци), необходими за реализиране на експерименталната част по проекта.

НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ

Извлечение от План-програмата:

<p>1.4. Прилагане на двустадийна технология за синтез на композитни материали от типа графенови структури/керамична матрица, основаваща се на твърдофазно спичане с дифузионен характер и колоиден подход, съобразена с оглед хомогенното диспергиране и равномерното разпределение на графеновите слоеве в керамиката.</p>	3 месеца	2 мес.	1 мес.	Композитни материали от типа: NGO/керамична матрица и RGO/керамична матрица
<p>1.5. Охарактеризиране и определяне основните физико механични и др. характеристики на получените керамични образци и композитни материали чрез съвременни методи за анализ (РФА, СЕМ, ТЕМ, ИЧС, ВЕТ анализ и др.);</p>	2 месеца	1 мес.	1 мес.	Чрез съвременни методи за анализ, като: РФА, СЕМ, ТЕМ, ИЧС, ВЕТ анализ и др. ще се охарактеризират и изследват синтезираните керамични образци и получените композитни материали. Ще се определят техните по-важни физико-механични характеристики, като: привидна плътност, порестост, водопогълщаемост, специфична повърхност и др.
<p>Работен пакет 3 – Разпространение на получените резултати. Публикационна и иновационна дейност Изследователски екип: Доц. д-р Адриана Георгиева, гл. ас. д-р Краси Панайотова, гл. ас. д-р Гургана Пеева, д-р Ралица Колева</p>				
<p>3.1. Обстоен анализ на извършените дейности и получените резултати.</p>				Анализ на извършените дейности и интерпретация получените резултати.
<p>3.2. Оформяне на получените резултати в научни публикации за български и международни специализирани журнали</p>	9 месеца	3 мес.	6 мес.	Отпечатани публикации във водещи списания в научната област с импакт фактор и/или импакт ранг.
<p>3.3. Докладване на резултатите на конференции в страната или в чужбина.</p>				Докладвани резултати на научни форуми и симпозиуми в страната или в чужбина. Подаване на заявка за изобретение (патент)/полезен модел.

Работен пакет 1 – Синтез на нанокomпозитни материали от типа графенови структури/керамична матрица по двустадийна технология, основаваща се на твърдофазно спичане с дифузионен характер и колоиден подход. Охарактеризиране на получените композити

Нискотемпературен синтез на порести корундови керамични образци и изследване ефектът от добавянето на графенови наноструктури в различно количество и 3 мас. % TiO_2 върху микроструктурата и свойствата им

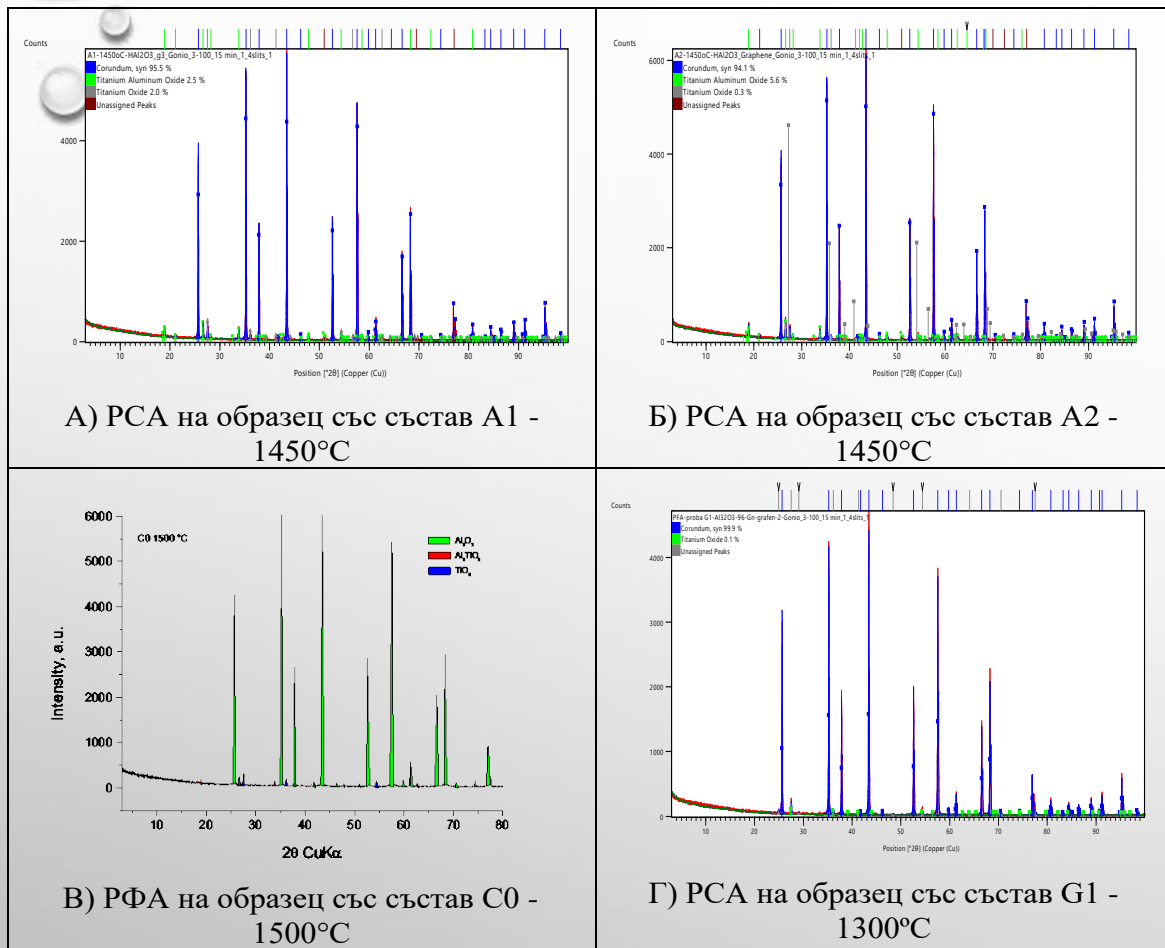
Таблица 1. Състави на шихти за синтез на корундова керамика с добавени наноструктури

Състав	Изходни суровини, [мас. %] Температура на изпичане на образците, [°C]
A1	Al_2O_3 - 77.0 мас. %, G3 - 20.0 мас. %, TiO_2 - 3.0 мас. % 1450°C
A2	Al_2O_3 - 77.0 мас. %, GnP - 20.0 мас. %, TiO_2 - 3.0 мас. % 1450°C
C0	Al_2O_3 - 95.0 мас. %, GnP - 2.0 мас. %, TiO_2 - 3.0 мас. % 1500°C
G1	Al_2O_3 - 91.0 мас. %, нано Al_2O_3 - 4.0 мас. %, GnP - 2.0 мас. %, TiO_2 - 3.0 мас. % 1300°C



Фигура 1. Използвано специализирано оборудване

Охарактеризиране на получените образци на база корунд със специално въведени нанодобавки

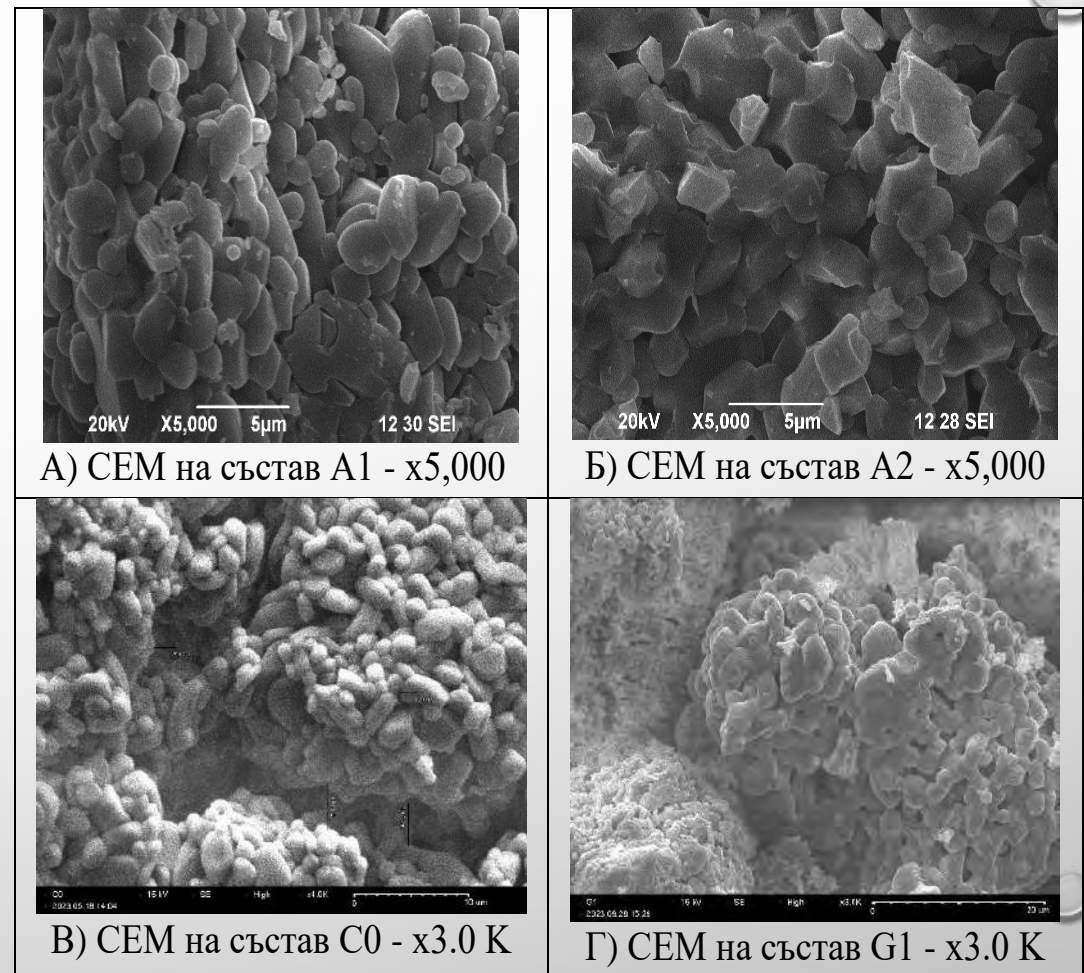


Фигура 2. Рентгенови дифракционни картини на прахови проби от корундова керамика с добавени наноструктури

(А, Б) РФА на синтезирани керамични образци със състави А1 и А2 - 1450°C;

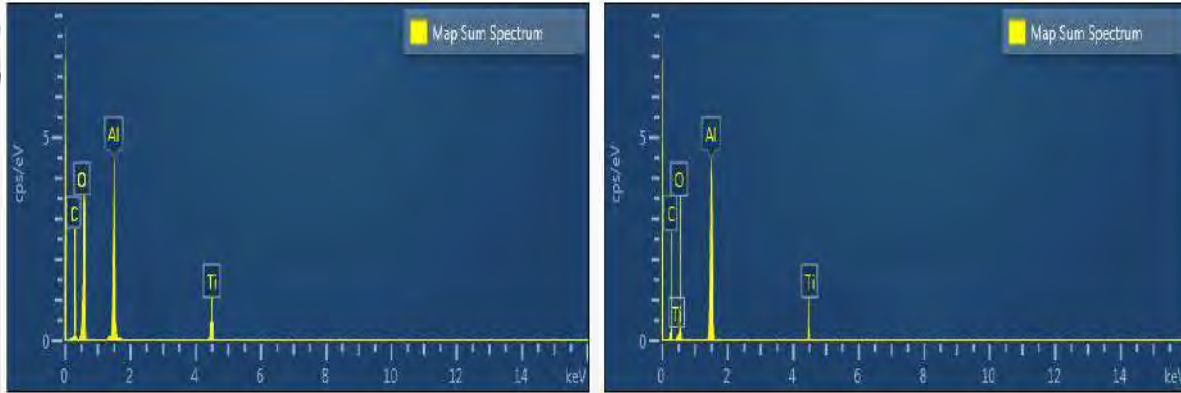
(В) РФА на образец със състав C0 - 1500°C;

(Г) РФА на образец със състав G1 - 1300°C.

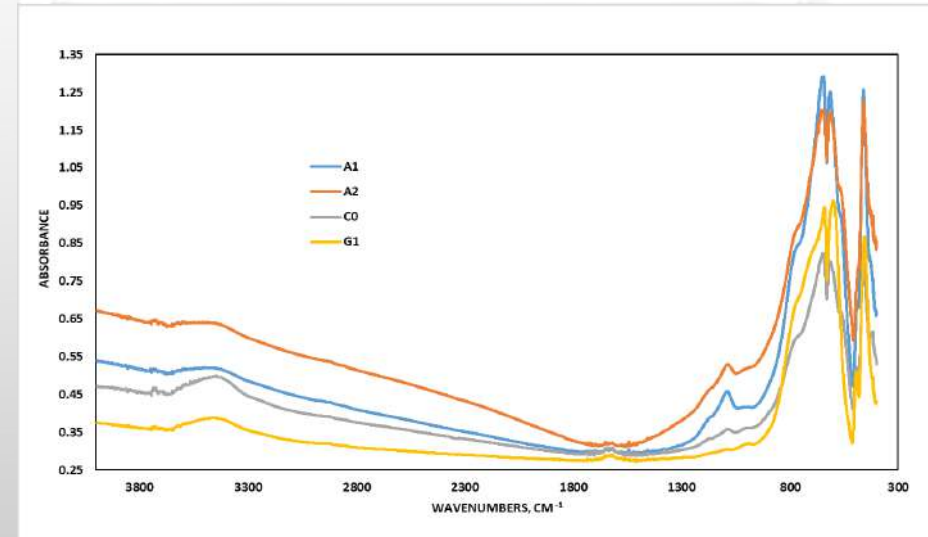
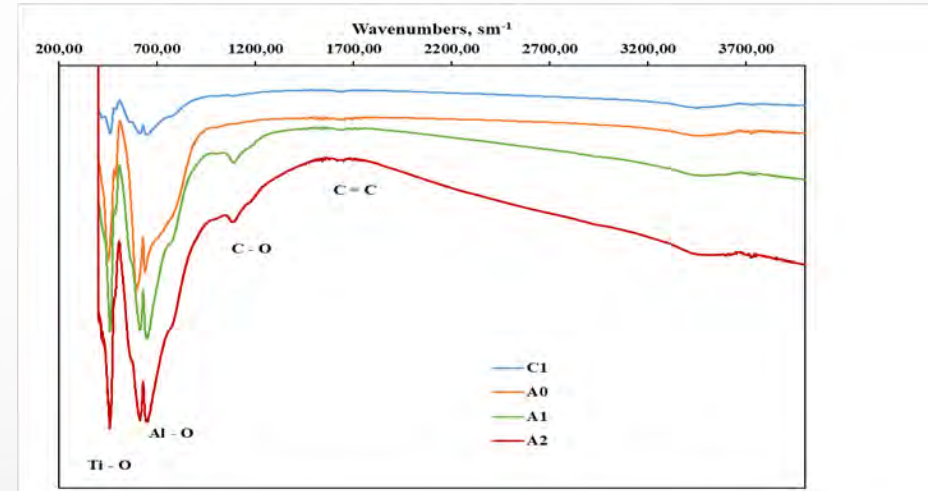


Фигура 3. Микрофотографии от СЕМ на керамични образци на основа корунд

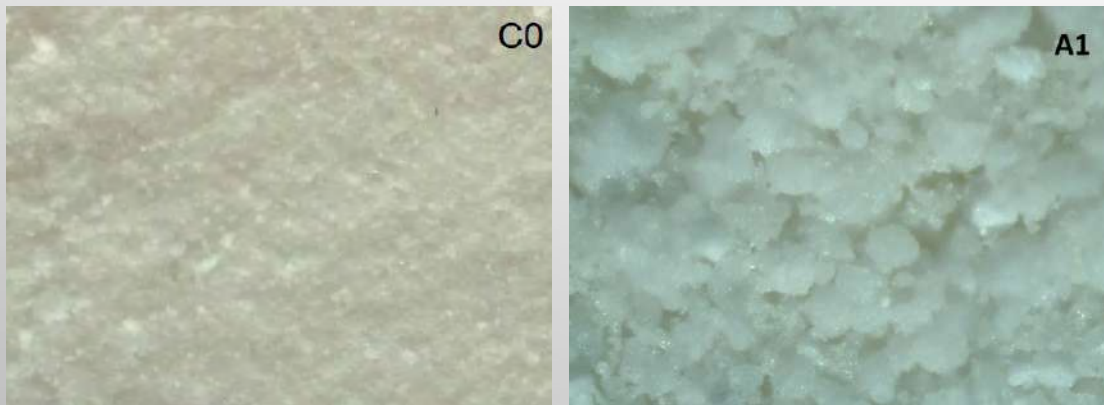
Охарактеризиране на получените образци на база корунд със специално въведени нанодобавки



Фигура 4. STEM images на образци със състави C0 и A1



Фигура 6. FT-IR спектри на синтезирани при 1300°C, 1450°C и 1500°C корундови образци



А) - образец със състав C0 изпечен при 1500°C

Б) - образец със състав A1 изпечен при 1450°C

Фигура 5. Фотографии на повърхността на корундови керамични образци от Светлинна микроскопия

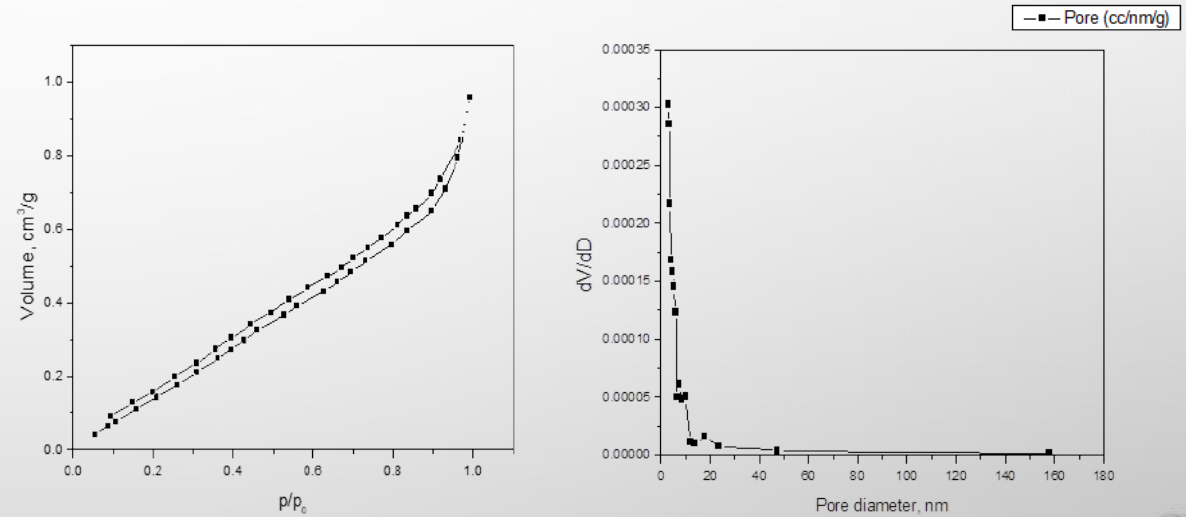
Охарактеризиране на получените образци на база корунд със специално въведени нанодобавки

На част от синтезираните корундови образци с включени добавки са определени по-важните физикомеханични показатели, като: водопогълщаемост (ВП, %), привидна плътност ($\rho_{пр}$, g/cm^3) и привидна порестост (Ппр, %). За образци със състави А1 и С0, резултатите от хидростатичното претегляне на водонаситените образци са представени в Табл. 2. Плътността на образци със състав G1 е определена по пикнометричния метод. Изчислената плътност на корундовата керамика, спечена при $1300^\circ C$ е $= 3,798 g/cm^3$.

Таблица 2. Основни физикомеханични свойства на част от синтезираните керамични образци

Образец със състав:	ВП, %	$\rho_{пр}$, g/cm^3	Ппр, %
A1	15,52	2,91	45,16
C0	10,43	3,26	33,46

Извършено е и адсорбционно-текстурно охарактеризиране на синтезираните при $1500^\circ C$ порести керамични образци. На Фиг. 7 са представени адсорбционните криви от анализа, които свидетелстват за мезопори с размери от 2 до 20 nm.



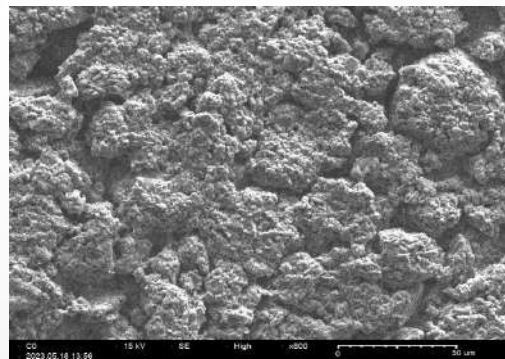
Фигура 7. Адсорбционни криви на порести корундови образци

Работен пакет 2 – Синтез на нанокomпозитни материали от типа графенови структури/керамична матрица по двустадийна технология, основаваща се на твърдофазно спичане с дифузионен характер и колоиден подход. Охарактеризиране на получените композити. Изследване свойствата на получените композитни материали в качеството на адсорбенти за пречистването на отпадни води.

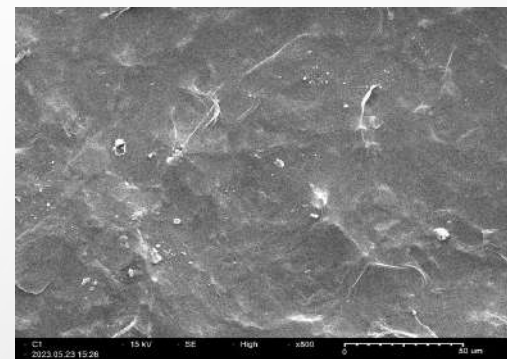
II. Получаване на графенов оксид в наноколоидна форма и импрегнирането му в синтезираните порести керамични образци

Получен е графенов оксид в наноколоидна форма, като изходният графит се окислява по метода на Hummer с добавяне на KMnO_4 . Графеновият оксид – GO се добавя към дейонизирана вода и рН на средата се коригира с NaOH на 11,0. Така получената суспензия се обработва с ултразвук при висока мощност от порядъка на 200 W в продължение на 2 часа. Концентрацията на така приготвения графенов оксид наноколоид – NGO е оценена на 2 mg/ml, dispersion in H_2O . На последният етап от експеримента се импрегнират колоидните частици от графенов оксид в синтезираните твърди, порести керамични образци, с цел получаването на композитен керамичен материал от типа NGO/керамична матрица. Получените композити със състав C1 се подлагат на вакуум сушене в продължение на 60 min.

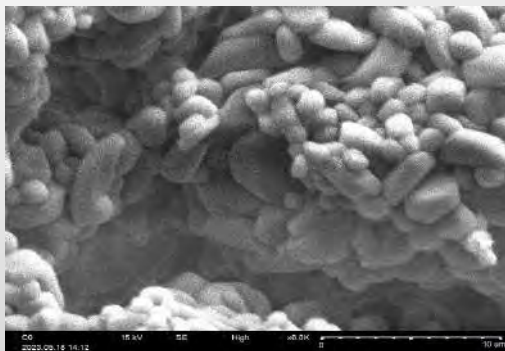
Композитният материал е изследван в две посоки: за обезцветяване на багрила и за отстраняване на тежки метали. Метиленово синьо и медни йони са използвани като моделни замърсители, както в статичен, така и в динамичен режим. Адсорбционните изследвания на композитния материал показват 49,36% очистване на разтвор на метиленово синьо с начална концентрация 1,25 g/l. Адсорбцията обикновено се използва като вторично третиране на отпадъчни води, което означава, че е изследваният композитен материалът е подходящ за приложения като адсорбент.



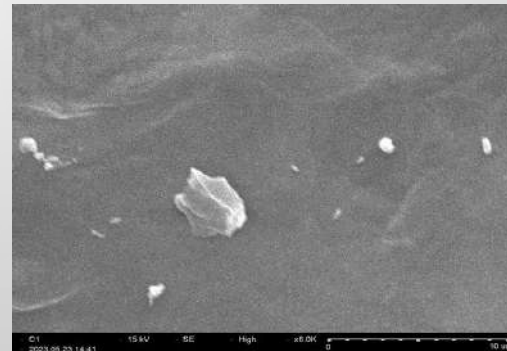
SEM на образец със състав C0 – x800



SEM на композит $\text{NGO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ C1 – x800



SEM на образец със състав C0 – x6.0K



SEM на композит $\text{NGO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ C1 – x6.0K

Фигура 8. Електронोगрами на синтезирани керамични образци на основа корунд със състав C0 и композит $\text{NGO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ – състав C1

МЕРКИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ПУБЛИЧНОСТ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Участие в научни прояви с цел разпространение на постигнатите резултати

Съгласно заложените в Работен пакет 3 - Разпространение на получените резултати. Публикационна и иновационна дейност, всички получени и натрупани резултати по време на първия етап от изпълнението на проекта са анализирани обстойно и са оформени в научни публикации. Изследователският екип участва и в научни форуми, с цел разпространение на постигнатите резултати:

- ❑ *„2nd International Scientific Conference on Cleaner Energy and Chemical Engineering for Sustainable Circular Economy: CLES-CE 2024”, organized by the Institute of Chemical Engineering - Bulgarian Academy of Sciences from Sofia, Bulgaria jointly with SPIL Laboratory at Brno University of Technology (BUT - Czech Republic) - Abstract ID: SPIL24.0011;*
- ❑ *„63-та Научна конференция на Русенски университет „Ангел Кънчев“ и Съюз на учените – Русе, 07-08 ноември 2024г., Разград;*
- ❑ *„Национална научна конференция Физика - Инженерство - Технологии с международно участие”, 27-28 ноември 2024 г., Пловдив;*
- ❑ *„2nd Seminar on Investigations, Modeling and Optimization of Nanocomposites Structures”, Institute of Chemical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, 2 April, 2025, Conference hall, Hotel of BAS, Sofia;*
- ❑ *International Conference „Science-Industry-Society Nexus for Sustainable Regions”, 12 - 14 June 2025. Conference, organized by University “Prof. Dr. Assen Zlatarov” – Burgas, Republic of Bulgaria and Trakya University – Edirne, Republic of Turkey;*
- ❑ *„64-та Научна конференция на Русенски университет „Ангел Кънчев“ и Съюз на учените – Русе, 07-08 ноември 2025г., Разград.*

МЕРКИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ПУБЛИЧНОСТ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Съгласно заложените в Работен пакет 3 - Разпространение на получените резултати. Публикационна и иновационна дейност, всички получени и натрупани резултати по време на първия етап от изпълнението на проекта са анализирани обстойно и са оформени в научни публикации.

Публикации:

- 1.A. Georgieva, F. Yovkova, M. Georgieva, I. Markovska, Low-temperature synthesis of fine-porous corundum based on incorporated graphene nanostructures, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 59, 6, 2024, p. 1415-1420, Q3, SJR 0.19;
- 2.A. Georgieva, R. Koleva, G. Peeva, K. Panayotova, Possibilities of obtaining nanocomposite materials as adsorbents for waste water treatment, *Proceedings of University of Ruse "Angel Kanchev"*, vol. 63, book 10.1, 2024, p. 25-29;
- 3.M. Georgieva, S. Pavlov, I. Markovska, A. Georgieva, Simulating the process of obtaining corundum ceramics with incorporated graphene nanostructures, *Proceedings of University of Ruse "Angel Kanchev"*, vol. 63, book 10.1, 2024, p. 13-18;
- 4.A. Georgieva, F. Yovkova, K. Panayotova, Preparation, characterization and application aspects of barium titanate based ceramic samples, *PET-2024 - Book of Abstracts*, 2024.
- 5.A. Georgieva, F. Yovkova, K. Panayotova, Synthesis, characterization and application aspects of barium titanate-based ceramic samples with graphene nanostructures introduced, *Bulgarian Chemical Communications*, Volume 57, Special Issue E, (p. 13-16), 2025 DOI: 10.34049/bcc.57.E.SIMONS02;
- 6.A. Georgieva, G. Peeva, R. Koleva, K. Panayotova, M. Valchanova, M. Karaivanova, Study of composite materials as adsorbents for wastewater treatment, *Extended Abstracts of the International Conference "Science-Industry-Society Nexus for Sustainable Regions"*, 2025, p. 51;
- 7.A. Georgieva, R. Koleva, K. Panayotova, G. Peeva, Nanotechnologies in waste water treatment, *Proceedings of University of Ruse "Angel Kanchev"*, vol. 64, book 10.1, 2025, p. 53-58;
- 8.A. Georgieva, M. Georgieva, K. Panayotova, M. Valchanova, Investigation and characterization of corundum ceramics with added nanostructures, *Proceedings of University of Ruse "Angel Kanchev"*, vol. 64, book 10.1, 2025, p. 16-21.
- 9.A. Georgieva, F. Yovkova, I. Markovska, R. Karamdjov, Synthesis and study of barium titanate-based ceramics, *Proceedings of University of Ruse "Angel Kanchev"*, vol. 64, book 10.1, 2025, p. 47-52.

През отчитания период е разработена и успешно защитена Дипломна работа по тематиката на проекта: Дипломна работа за придобиване на образователно – квалификационна степен „Магистър“ на инж. Желязко Георгиев Кисов, специалност: „Химично инженерство“, Магистърска програма: „Химично инженерство“, фак. № XI шп 4983 на тема: „Изследване на композитни материали в качеството им на адсорбенти за пречистване на отпадъчни води“.



МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
БУРГАСКИ ДЪРЖАВЕН УНИВЕРСИТЕТ
“ПРОФ. Д-Р АСЕН ЗЛАТАРОВ”

ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ
КАТЕДРА „ХИМИЧНИ ТЕХНОЛОГИИ“

ДИПЛОМНА РАБОТА

ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНО – КВАЛИФИКАЦИОННА СТЕПЕН
„МАГИСТЪР“

на инж. Желязко Георгиев Кисов
специалност: „ХИМИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО“

магистърска програма: „ХИМИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО“, фак. № XI шп 4983

Тема: ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОМПОЗИТНИ МАТЕРИАЛИ В
КАЧЕСТВОТО ИМ НА АДСОРБЕНТИ ЗА ПРЕЧИСТВАНЕ НА
ОТПАДЪЧНИ ВОДИ

Ръководител катедра:.....
/доц. д-р Адриана Георгиева/



Научен ръководител:.....
/гл. ас. д-р Мирослава Вълчанова/

Научен консултант:.....
/доц. д-р Адриана Георгиева/

Дипломант:.....
/инж. Желязко Кисов/

Бургас – 2025

ФИНАНСОВ ОТЧЕТ

Бургаски държавен университет "Проф.д-р Асен Златаров" Научно-изследователска и художествено творческа дейност Финансов отчет за втора година на договор НИХ - 498/2024		
	Получаване, охарактеризиране и изследване на нанокomпозитни материали като адсорбенти за пречистване на отпадни води	
	Получени средства: 5000,00 лв Изразходени средства: 4999,28 лв Ръководител: доц. д-р Адриана Георгиева Срок на проекта: 2 години	
№ по ред		Сума
1. Към перо "Дълготрайни материални активи" (над праг за същественост):		
1.1		0.00
	Общо :	0.00
2. Към перо "Други материали и активи" :		
1.1	Стъклария и реактиви	1162.80
1.2	Канцеларски материали	101.79
	Общо :	1264.59
3. Към перо "Програмни продукти и литература":		
3.1		0.00
	Общо :	0.00
4. Към перо "Външни услуги":		
4.1	Анализи	968.00
	Общо :	968.00
5. Към перо "Такси правоучастия"		
5.1	Международна научна конференция, Разград - 4 доклада	450.00
5.2	Съвместна международна конференция, БДУ	156.47
	Общо:	606.47
6. Към перо "Командировки":		
6.1		1595.22
	Общо :	1595.22
7. Към перо "Заплащане на възнаграждения":		
7.1	Заплащане на членовете на екипа	0.00
	Общо :	0.00
8. Към перо "Рецензенти":		
8.1	Заплащане на рецензенти по отчета	65.00
	Общо :	65.00
9. Към перо "Административно/финансово-счетоводно обслужване":		
9.1	10% от стойността на договора	500.00
	Общо :	500.00
Общо извършени разходи по проекта:		4999.28
Общо получени средства:		9340.00
Общо изразходени средства:		9237.79
Общо неизразходени средства:		102.21



БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО!