

10. Авторска справка за научните приноси на трудовете след защита на докторска дисертация на д-р инж. Александър Николаев Николов

1. Обобщена информация за публикациите – информацията е от официалната система SONIX.

а) Научни трудове по вид

Научни публикации, общ брой - **24**

- В издания, индексирани в WoS, Scopus, ERIH+ – **15**
 - Попадащи в Q1 – **1** [14]
 - Попадащи в Q2 – **5** [1, 3, 13, 21, 7]
 - Попадащи в Q3 – **1** [8]
 - Попадащи в Q4 – **1** [5]
 - В издания със SJR в Scopus, неотнесени към квантил – **1** [16]
 - Индексирани в WoS или Scopus, но без IF и SJR – **5** [4, 10, 11, 17, 20]
- Научни публикации в български научни списания – **16**

**С квадратни скоби [] са посочени конкретните публикации, съгласно списъка с публикации (документ 7)*

б) Авторски дял в научните трудове

Водещ автор - 20

Втори или следващ автор - 4

От 24 научни публикации - 20 са на английски език, 3 на български, 1 – руски език

H- index .- 4 (без самоцитирания)

2. Разширена справка за научните приноси по публикациите

Научно-изследователската дейност на Александър Николов в периода след защитата на дисертацията е насочена главно към продължаване на изследвания в сферата на геополимерите. Целта на проведените изследвания е да се установи възможността природни и техногенни материали да бъдат използвани като суровина за приготвяне на геополимери с потенциално приложение в строителството. Изследвани са различни природни и техногенни суровини, в комбинация с различни по вид и концентрация активиращи разтвори. Изследванията вървят по линията състав-структура-свойства-приложение. Публикуваните изследвания могат да се групират както следва:

➤ **Употреба на природен зеолит** – темата за геополимери на база природен зеолит е заложена още в дисертационния труд на тема „Геополимери на основа естествен зеолит за приложение в строителството, състав, структура, свойства“. Дисертацията е публикувана и като монография [6], която до момента не е призната от НС на ИМК и не е включена в списъка с публикации за покриване на минималните критерии. Изследванията на геополимери на база природни зеолити задълбочено продължават и след дисертационния труд. Изследвано и установено е влиянието на модула на натриев метасиликат (водно стъкло) върху свойствата на получените геополимери. Употребата на по-висок модул водно стъкло (~3) води до по-бързо натрупване на якост, отколкото при употреба на водно стъкло с модул – 2. С течение на времето геополимерите, синтезирани с водно стъкло с модул 2, достигат по-висока якост на 90 ден [3]. Въпреки това, геополимерите на база природен зеолит се характеризират с бавно натрупване на якост и значително съсъхване, което прави материала непрактичен. Все пак нанесен на тънки слоеве материалът не се напуква и показва значителна адхезивна якост (>2.5 MPa). Изследван е ефекта и от добавяне на полипропиленови монофиламентни фибри [1]. Резултати от компютърна томография на геополимер на база природен зеолит показват значително съдържание на пори – 80% от порите са с размери между 60 μm и 1 mm. Голяма част от тези пори са образувани в следствие на въздуховъвлечение и отделяне на въздух от разтварянето на микро и мезопори в зеолита [7]. Изследвани са различни вариации на активирация разтвор върху свойствата на геополимерни разтвори. Установена е оптимална концентрация на активатор, при която геополимерни разтвори показват най-висока якост на огъване и адхезия [20]. Резултатите показват, че тези състави са подходящи за мазилки и замазки. Изследван е ефекта от добавяне на различни количества метакаолин към геополимерни състав. Резултатите показват, че добавянето на МК води до подобряване на свойствата при поне 30% замяна на природния зеолит с МК [24]. С цел намаляване на съсъхването е изследван и ефекта от използване на алуминатни активатори вместо силикатни. Използван е натриев алуминат с химическа чистота, а също и отпаден алуминатен разтвор от производството на алуминиеви профили. Получените геополимери се характеризират със значително по-ниско съсъхване – до 4 пъти. Резултатите показват наличие на филипсит в алуминатно-активирани геополимери. Получените геополимери са изследвани с ДТА при температури до 1150 °C и XRD, при което се забелязва кристализация на левцит [8]. Изследван е ефекта на калциниране на зеолита върху свойствата на геополимера. Опитно е избрана температура от 900 °C, при която природния зеолит е

изцяло аморфен. Така полученият зеолит е наречен ‚метазеолит‘, подобно на каолин – метакаолин. Използването на метазеолит води до повишаване на якостта на натиск с повече от 3 пъти и намаляване на съсъхването около два пъти [14].

➤ **Употреба на фаялитов отпадък** - вторичен продукт от производството на мед от най-големия завод в Юго-източна Европа - Аурубис, гр. Пирдоп. Отпадъкът е в огромни количества (над 20 мегатона), с годишно производство от 1 мегатон, от които едва около 10% се утилизират, останалото количество се депонира в хвостохранилища на територията на завода. Всичко това дава представа за важността на проблема. Направените изследванията са в две направления – алкална активация и киселинно-основна реакция:

- Алкална активация на фаялитов отпадък – Изследвано и доказано е влиянието на различни концентрации активиращ разтвор, съставен от натриево водно стъкло и калиева основа. Определена е оптимална концентрация, при която получените геополимерни разтвори се характеризират с якост на натиск 28 МПа. За съжаление съставите с прекурсор само фаялитов отпадък набират якост бавно. Микроструктурите изследванията показват, че фаялитовия отпадък остава относително инертен, само малка част (аморфната фаза) реагира и участва в геополимеразиционния процес [16]. С цел подобряване на свойствата е изследвано влиянието на добавяне на МК в съотношение фаялитов отпадък: МК = 5:1. Чрез добавянето на МК натрупването на якост е достатъчно бързо и позволява декофриране на пробите един ден след замес. Серията проявила най-висока якост се характеризира с 6.42 МПа якост на опън и 31.2 МПа якост на натиск. При нагряване на получения геополимер се наблюдава окисление на желязо-съдържащите фази [18]. Оказва се, че геополимерни смеси с фаялитов отпадък и МК са със специфична реология и това позволява да се намали значително водата, която от своя страна да доведе до значителен ръст в якостта на получените геополимери. Установено е влиянието на съотношението вода/сухо вещество върху консистенцията на прясната геополимерна смес. Постигнати са високо-якостни геополимери с якост на натиск над 100 МПа при стандартна консистенция на сместа. Установено е, че полученият геополимерен гел съдържа известно количество желязо [21]. Изследванията продължават с установяване на термичните свойства на получения оптимален състав VFM4.5. Изготвени са пробни тела, които са подложени на високи температури – 400, 800, 1150 °С. Резултатите показват че геополимерите на база фаялитов отпадък и МК не само издържат на температури до 1150 °С, но и увеличават своята якост (до 139 МПа) и намаляват значително водопоглъщането на вода. Наблюдава се интересен феномен – структурата на образците се различава в дълбочина. При нагряване на 1150 °С външния слой се характеризира с

промяна на цвета до червеникав, поради окисляването на железните фази до хематит, докато вътрешното ядро остава черно. И в двата слоя има частична кристализация на геополимерния гел в левцит и K_2Na -санидин [23]. Подобни резултати със сходни желязо-съдържащи отпадни суровини са без аналог в световните научните среди. На базата на тези изследвания, съвместно с млад екип от старт-ъп компанията Wasteful, е изработен **прототип на тротоарно паве** – композит от отпадъчна пластмаса и геополимерно защитно покритие на базата на фаялитов отпадък. Разработката предизвика сериозен интерес от медии и бизнес, като са спечелени няколко международни конкурса и в момента се работи по патентоване на технологията.

- Киселинно-основна реакция на фаялитов отпадък – експерименти със смесване на фаялитов отпадък и разтвор на фосфорна киселина показваха, че протича бърза реакция, при която в рамките на минути материала се втвърдява. Полученият нов материал се характеризира с якост на натиск около 16 МПа. Физико-химичните изследвания показват, че около 15% от желязото (основно от фазата фаялит) преминава от Fe^{2+} в Fe^{3+} [5]. Структурата и свойствата на киселинно активирани геополимери се различават значително от алкално активирани на база фаялитов отпадък [15]. В следствие е разработен еднокомпонентен цимент, с който се работи по метода „просто добави вода“. Чрез съвместно смилане са изготвени множество геополимерни цименти за установяване на свойствата на получените нови геополимери [17].

➤ **Употреба на летяща пепел** – Успешно са синтезирани геополимери чрез използвана е летяща пепел от ТЕЦ Марица Изток. Установена е оптимална концентрация на активирания разтвор. Получените геополимери са с относително високо водопоглъщане, което е признак за развита порьозна структура. Това свойство е използвано и доразвито до получаване на олекотени геополимери чрез използване на водороден прекис като газообразуващ агент. Полученият олекотен геополимер се характеризира с плътност $0,44 \text{ g/cm}^3$ и 83% относителна порьозност [4]. Проведено е предварително изпитване на директен огън с пропан-бутанова горелка. Резултатите показваха, че образеца запази своята цялост, което провокира по-нататъшни изследвания. Приготвени и изследвани са геополимери на база летяща пепел за изследване на термичните свойства при 400, 800 и 1150 °C. При нагряване на 400 °C се наблюдава спад в якостта на натиск (от 7.1 МПа до 3.9 МПа). По-нататъшно нагряване на 800 и 1150 °C води до увеличаване на якостта до 11.4 МПа съпроводено с кристализация на левцит и нефелин [10]. Диференциално термичния и термогравиметричния анализ показва значителна дехидратация и намаляване на масата на пробата, което е свързано и с наблюдаваното съсъхване [12].

➤ **Други изследвания** – наред с изследването на геополимери, има участия в изследвания на колективи по теми в сферата на материалознанието и науки за земята.

- Изследвани са образци, съдържащи тюркоаз от находище Чала, Източни Родопи. Направени са снимки на СЕМ, при които се наблюдават кристали на тюркоаз и вавелит с характерна морфология. Рентгено-структурния анализ показва, че изследваните минерали от тюркоазената група са съставени от троен твърд разтвор между тюркоаз, халкосидерите и планерит [11].
- Изследвани са йонообмените свойства на природен зеолит от находище Бели пласт с бикатионни разтвори, съдържащи Cs^+ и Sr^{2+} . Резултатите показват, че сорбцията на Sr^{2+} намалява значително при наличието на Cs^+ [13]. Изследването и резултатите са представени с постер от Александър Николов на 10-та Международна конференция по природни зеолити, Краков, 2018.
- Изследвани са промените при нагряване на кремъчни материали. Образци, предоставени от Мария Гурова, са подложени на температура от 650°C и са изследвани с рентгенов апарат и инфрачервен спектроскоп. Установено е, че всички изследвани проби съдържат основно кварц. В три от пробите на рентгенограмата се забелязват пикове характерни за минерала могоанит – полиморф на кварца. Резултатите от инфрачервената спектроскопия показват наличие на ивица около 557 cm^{-1} , която е характерна за могоанит. Въз основа на методика на Zhang, 2014, количеството могоанит е приблизително определено спрямо позицията на ивицата. След нагряване се наблюдава нарушаване на целостта на пробите, като са изтъкнати следните причини – наличието на химически свързана вода (около 1-2%), плътната структура на кремъците и вътрешните напрежения породени от освобождаването на химически свързана вода; трансформацията на кварц при температура 573°C съпроводена с промяна в обема на фазата. След нагряване се наблюдава и изчезване на ивиците около 3580 cm^{-1} [19].

3. Оригинални научни приноси по публикациите

На база на проведената експериментална и научна работа, считам че са налице следните научно и научно-приложни приноси:

1. Създадени са нови геополимерни материали на основа природен зеолит. Изследвани са техни механични, физични и физикохимични свойства. Определена е оптимална температура на калциниране от 900°C на естествен зеолит с оглед употребата му като суровина за геополимери. Изследвано и доказано е влиянието на калиеви активатори (калиева основа и калиев силикат) върху процесите на геополимеризация на естествен зеолит и метазеолит, свойствата и структурата на получения втвърден геополимерен материал. Изследвано и доказано е влиянието на алуминатни активатори (NaAlO_2) върху процесите на геополимеризация на естествен зеолити метазеолит, свойствата и структурата на получения втвърден геополимерен материал. Изследвана и доказана е възможността за употребата на алкален отпаден разтвор, съдържащ натриева алуминат, в качеството на активатор за приготвяне на геополимери на база естествен и метазеолит. Установена и доказана е висока адхезивна якост с бетонна повърхност. Изследване е влиянието на различни

активиращи разтвори, като са постигнати оптимални концентрации с оглед получаване на практически полезен материал с приложение в строителството. Получените данни са с фундаментално и практическо значение. Изследвано и доказано е влиянието на различни по вид активиращи разтвори върху процесите на геополимеризация на естествения зеолит, механичните свойства и структурата на получения втвърден геополимерен материал. Установено е влиянието на активиращия разтвор върху структурата на втвърдените продукти и процеса на геополимеризация на зеолит чрез преки физични методи. Установено е влиянието на активиращия разтвор (различни активатори и концентрации) върху механичните показатели на геополимерни разтвори. Доказано е, че естественият зеолит (клиноптилолит, от с.Бели пласт) може да се използва като алумосиликатна суровина за получаване на геополимери. Получени са значителен брой състави, т.е. нови материали, като са използвани различни активиращи разтвори. Микроструктурата и свойствата на получените материали е изследвана с методи като рентгенова прахова дифракция, рентгенова флуоресценция, лазерна дифракция, нискотемпературна газова абсорбция, компютърна томография, сканираща електронна микроскопия, диференциално сканираща калориметрия с тегловна гравиметрия, инфрачервена спектроскопия и други [1,2,3,6,7,8,14].

2. Създадени за нови геополимерни материали на база леляща пепел от ТЕЦ Марица Изток. Изследвано е влиянието на различни концентрации на активиращия разтвор върху основни механични, физични и физикохимични свойства. Установено е влиянието на високи температури (400, 800 и 1150 °C) върху структурата на получените нови геополимерни материали. Разработени са леки геополимерни материали чрез използване на газообразуваща добавка [4, 10, 12].

3. Създадени за нови геополимерни материали на база фаялитов отпадък от медната промишленост (Аурубис, гр. Пирдоп). Установено и доказано е влиянието на различни концентрации алкални активиращи разтвори върху основни механични, физични и физикохимични свойства. Установено и доказано е влиянието на добавяне на метакаолин в съотношение 5:1 по маса върху свойствата на получените геополимери. Чрез оптимизиране са получени високо якостни геополимери с якост до 113,9 МПа на 90 ден. Микроструктурата и свойствата на получените материали е изследвана с методи като рентгенова прахова дифракция, рентгенова флуоресценция, сканираща електронна микроскопия, диференциално сканираща калориметрия с тегловна гравиметрия, инфрачервена спектроскопия, Мьосбаерова спектроскопия и други [15,16, 20].

4. Изследвани и разработени са бързовтвърдяващи геополимери с използване на фаялитов отпадък в кисела среда. Установено и доказано е влиянието на различни забавящи свързването вещества, които в малки количества влияят съществено на скоростта на процеса на втвърдяване. За първи път е разработен е бързовтвърдяващ едноккомпонентен цимент – предварително смляна и хомогенизиран цимент, към който просто се добавя вода. Определено е влиянието на концентрацията на активиращото вещество към времесвързването и свойствата на получените геополимери [5, 15, 17].