dr inż. Jolanta Agnieszka Latosińska
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki
Katedra Geotechniki, Geomatyki i Gospodarki Odpadami

Załącznik 2

AUTOREFERAT

PRZEDSTAWIAJĄCY OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH,

ORAZ DZIAŁALNOŚCI DYDAKTYCZNEJ I ORGANIZACYJNEJ

Kielce, marzec 2019

Spis treści

1. Imię i nazwisko 3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej 3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych 3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r., poz. 1311.) 4
a) tytuł osiągniecia naukowego/artystycznego: 4
b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy 4
c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania 4
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych 15
5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora 15
5.2. Po uzyskaniu stopnia doktora 17
5.3. Podsumowanie dorobku naukowego 20
6. Omówienie osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych 21
6.1. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska 21
6.2. Działalność organizacyjna 23
Literatura 24

1. **Imię i nazwisko:** Jolanta Agnieszka Latosińska

2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

1998 dyplom magistra inżyniera inżynierii środowiska, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, specjalność: Zaopatrzenie w wodę i unieszkodliwianie ścieków i odpadów
Tytuł pracy magisterskiej: Opis i ocena niezawodnościowa wybranych syfonów kanalizacyjnych. Promotor: dr inż. Jadwiga Kapcia

2007 stopień doktora nauk technicznych, dyscyplina: inżynieria środowiska, specjalność: Zaopatrzenie w wodę, unieszkodliwianie ścieków i odpadów, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Świętokrzyska
Tytuł rozprawy doktorskiej: Utylizacja komunalnych osadów ściekowych jako komponentu masy keramzytowej.
Promotor: dr hab. inż. Maria Żygadło, prof. PŚk.
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Franciszek Czyżyk, prof. dr hab. inż. Janusz Wandrasz
Praca doktorska wyróżniona decyzją Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej

3. **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych**

a) **zatrudnienie w jednostkach naukowych**

1999 – 2007 asystent, Katedra Technologii Wody i Ścieków, Wydział Budownictwa Lądowego, Politechnika Świętokrzyska

2007 – 2012 adiunkt, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Świętokrzyska

2012 – 2015 adiunkt, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska

2015 – obecnie adiunkt, Katedra Geotechniki, Geomatyki i Gospodarki Odpadami, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska

b) **zatrudnienie w jednostkach projektowo-przemysłowych**

1996–1997 – Przedsiębiorstwo Budownictwa Specjalistycznego, BUD-WOD, asystent projektanta

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.2018 r. poz. 1789):

a) **tytuł osiągniecia naukowego/artystycznego:**

Modyfikacja popiołu z komunalnych osadów ściekowych poprzez zeolityzację. Wybrane zagadnienia

b) **autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy**

Jolanta Latosińska: Modyfikacja popiołu z komunalnych osadów ściekowych poprzez zeolityzację. Wybrane zagadnienia. Monografie, Studia, Rozprawy M 111, 2019, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, ISSN 1897-2691, Kielce, s. 225

Recenzentami wydawniczymi byli:
prof. dr hab. inż. Izabela Majchrzak - Kucęba
dr hab. inż. Magdalena Wdowin, prof. IGSMiE PAN

c) **omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

Wprowadzenie i omówienie celu osiągnięcia naukowego

W ostatnich latach w Polsce, wśród sposobów zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych, będących ubocznym produktem eksploatacji oczyszczalni, nastąpił wyraźny wzrost wykorzystania metod termicznych (GUS, 2019). Temu trendowi sprzyjają ograniczenia przyrodniczego wykorzystania osadów, ponadnormatywne stężenia metali ciężkich w osadach ściekowych oraz zakaz składowania osadów niepoddanych odpowiedniej przeróbce (Roz. Min. Gospodarki, Dz.U. poz. 1277, 2015). W Polsce dominującą technologią przetwarzania termicznego osadów ściekowych jest spalanie w piecach ze złożem fluidalnym. Siedem z jedenastu istniejących instalacji stosuje ten sposób przetwarzania (KPGO 2022, 2016). Powstające w wyniku spalania osadów ściekowych popioły, w porównaniu do odpadów energetycznych z węgla kamiennego, charakteryzuje skład odpowiadający żużlowi, przy jednocześnie wyższych stratach prażenia i stężeniu fosforu (Zabielska-Adamska, 2015). Znane są różnorodne metody wykorzystania popiołów otrzymanych ze spalania komunalnych osadów ściekowych oraz węgli. Część sposobów postępowania z tymi odpadami jest podobna, na przykład wykorzystanie w budownictwie drogowym (Lind i in., 2008; Filipiak, 2011; Borowski, 2010) lub w produkcji materiałów budowlanych (Wang i in., 2005; Monzo i in., 2003; Garcés i in., 2008; Kappel i in., 2017; Ling i in., 2016; Lee i in., 2010). Postawiono zatem hipotezę, że popioły z osadów ściekowych mogą być źródłem zeolitów, które od lat 80. XX wieku są otrzymywane z popiołów lotnych z węgli (Suchecki, 2005).

Zeolity tworzą przestrzenną strukturę aluminokrzemianów, składających się z sieci tetrahedronów AlO_4 i SiO_4 połączonych ze sobą wspólnymi atomami tlenu. Rozwinięta struktura wewnętrzna czyni

je bardzo dobrymi sorbentami, katalizatorami, materiałami jonowymiennymi (Breck, 1974; Suchecki, 2005). Właściwości zeolitów spowodowały, że znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle chemicznym, rolnictwie, przemyśle budowlanym oraz inżynierii środowiska (Franus, 2012). Zeolity syntetyczne otrzymywane są najczęściej w wyniku syntezy metodą hydrotermalną lub metodą fuzji (Molina i Poole, 2004; Deng i in., 2016). Zgodnie z doniesieniami literaturowymi do syntezy zeolitów był również wykorzystywany popiół z łupków olejowych (Bao i in., 2013), popiół ze szlamu papierniczego (Wajima i in., 2006).

O rodzaju powstającego zeolitu decydują właściwości surowca, szczególnie wartość stosunku SiO_2/Al_2O_3 oraz udział fazy szklistej. Synteza zeolitu jest złożonym procesem polegającym na sekwencji reakcji, w tym: rozpuszczeniu glinu i krzemionki z popiołu, powstaniu glinokrzemowego żelu na nierozpuszczonych cząstkach popiołu, krystalizacji zeolitu i jego wzroście. Przebieg poszczególnych etapów syntezy zależy od parametrów ciśnienia, temperatury i czasu reakcji, alkaliczności roztworu i rodzaju zasady (Querol i in., 2002, Murayama i in., 2003, Molina i Poole, 2004). Stosowanie różnych parametrów procesu konwersji popiołu w zeolit, nawet w obrębie jednej metody syntezy, umożliwia otrzymanie różnych form krystalicznych zeolitów z tego samego surowca (Pimraksa i in., 2010).

W moim osiągnięciu naukowym zaproponowałam, do modyfikacji właściwości popiołu z komunalnych osadów ściekowych, wykorzystanie konwersji chemicznej metodą hydrotermalną oraz metodą fuzji. Moje prace prezentujące ten zakres ukazały się w literaturze krajowej jako pierwsze (zał.4.II: 34e, 4f, 5f, 44f, 45f, 47f, 48f), a prace zał.4.II.34e, zał.4.II.44f wyprzedziły publikacje autorów zagranicznych (Zhang i in., 2018). Światowa literatura dostarcza kilka przykładów dotyczących tych zagadnień (Lee i in., 2007; Je-Seung i in., 2008). Takahashi i inni (2001) otrzymali materiał zeolitowy przeprowadzając odzysk fosforu z popiołu z osadów ściekowych. Intencją autorów (Takahashi i in., 2001) był odzysk fosforu z popiołów z osadów, prowadzący do uzyskania związków fosforu o największych walorach użytkowych, a nie synteza zeolitów.

Cel naukowy mojego osiągnięcia naukowego obejmował ocenę podatności osadów ściekowych na konwersję do postaci zeolitu:

- wpływu temperatury obróbki termicznej na wybrane właściwości popiołów po procesie zeolityzacji,
- wpływu zeolityzacji popiołów metodą hydrotermalną na wybrane właściwości otrzymanego materiału,
- wpływu zeolityzacji popiołów metodą fuzji na wybrane właściwości powstającego materiału,
- możliwości wykorzystania popiołu po procesie konwersji chemicznej do oczyszczania wód zanieczyszczonych metalami,
- możliwości wykorzystania popiołu po konwersji chemicznej do oczyszczania odcieków składowiskowych.

Omówienie wyników badań

Wyniki badań przedstawione w osiągnięciu naukowym otrzymałam w wyniku realizacji w latach 2012-2016 Grantu Sonata, którego byłam kierownikiem (zał.4.II.3j).

Materiałem badawczym były popioły po spaleniu osadu ściekowego otrzymane w wyniku obróbki termicznej osadu w warunkach laboratoryjnych. Osad ściekowy pochodził z mechaniczno – biologicznej oczyszczalni ścieków Sitkówka – Nowiny k/Kielc.

W celu oceny wpływu temperatury obróbki termicznej osadu na właściwości popiołu, istotne w aspekcie powstawania zeolitów, do badań wykorzystałam popioły otrzymane w trzech temperaturach: 600°C (P-600), 790°C (P-790), 980°C (P-980). Wybór temperatur obróbki termicznej osadów ściekowych był poprzedzony analizą: składu tlenkowego, składu fazowego, różnicową (DTA) oraz termograwimetryczną (TG) osadu ściekowego (zał.6.s.46 – 49).

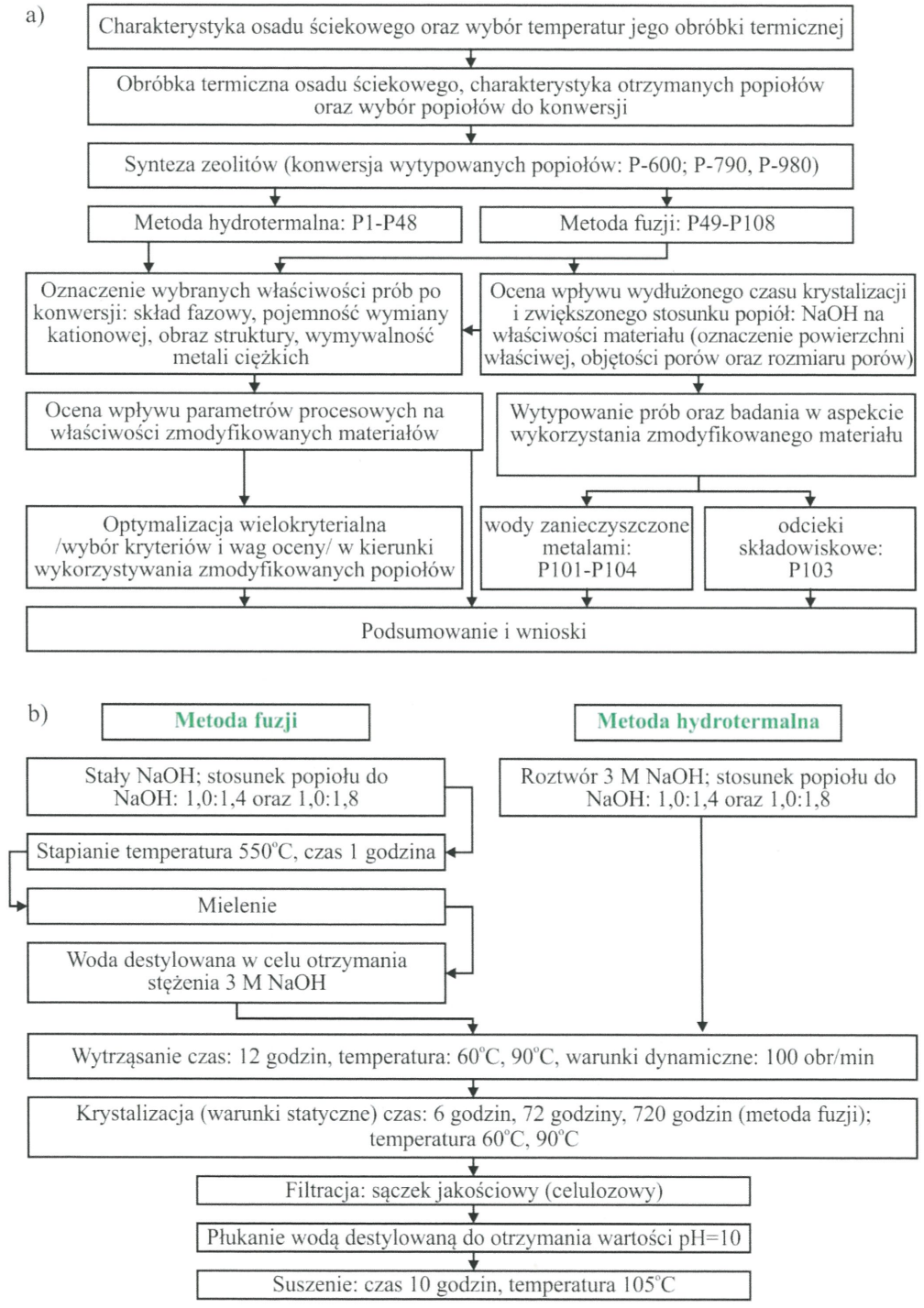
W warunkach przemysłowych spalanie komunalnych osadów ściekowych realizowane jest tak, aby temperatura gazów spalinowych powstających w trakcie spalania była utrzymywana na poziomie nie niższym niż 850°C (Roz. Min. Rozwoju, Dz.U.poz.108, 2016). Zróżnicowanie parametru temperatury spalania osadów przyjęto celowo, aby zarejestrować jej wpływ na udział fazy amorficznej, która jest jednym z czynników warunkujących powstawanie zeolitów. Ten wpływ stwierdzono we wcześniejszych badaniach własnych obejmujących ocenę wpływu temperatury (600–980°C) i czasu obróbki termicznej osadu (2 – 20 minut; zał.6.s.169 – 170). Przyjmując temperatury obróbki termicznej osadu uwzględniałam także fakt, że w warunkach przemysłowych temperatura deklarowana przez operatora instalacji może podlegać wahaniom w pewnym interwale w zależności od charakterystyki osadów ściekowych oraz charakterystyki pieca. Typując próby popiołów do dalszych badań uwzględniłam także wartości ich strat prażenia. Są one miarą udziału substancji organicznych, będących niekorzystnym składnikiem z punktu widzenia efektów procesu zeolityzacji. W literaturze nie znalazłam wyników badań w tym zakresie.

Wykonałam badania charakterystyki popiołów, w tym: skład tlenkowy, skład fazowy, gęstość właściwa, pojemność wymiany kationowej, powierzchnia właściwa, objętość porów, rozmiar porów, morfologia i rozkład ziarnowy (zał.6. s. 50 – 52). Właściwości popiołów, otrzymanych w laboratorium w wyniku obróbki termicznej osadu, nie odbiegały od danych przedstawionych w literaturze (Stempkowska i in., 2015; Pan i in., 2003; Adam i in., 2007, Cyr i in., 2007; Zabielska-Adamska, 2015).

Modyfikację właściwości trzech wytypowanych popiołów po obróbce termicznej osadu przeprowadziłam metodą hydrotermalną oraz metodą fuzji z wykorzystaniem NaOH. Przeprowadziłam 108 niezależnych eksperymentów. Zmiennymi parametrami procesu konwersji był stosunek masy popiołu z osadu do masy zasady sodowej, temperatura aktywacji, temperatura krystalizacji oraz czas krystalizacji (rys.1). Według Querol i inni (2002) oraz Moisês i inni (2013) wydajność procesu zeolityzacji wzrasta wraz z wydłużeniem czasu konwersji. Było to podstawą do

wydłużania czasu krystalizacji do 720 godzin prób poddanych konwersji metodą fuzji. Próby z wydłużonym czasem krystalizacji miały stosunek mas popiół:NaOH – 1:1,8.

Schematyczną prezentację algorytmu postępowania w całym zakresie badań oraz procedury konwersji popiołów zgodnie z zastosowaną metodą hydrotermalną oraz metodą fuzji przedstawia rysunek 1.



Rys.1. Algorytm postępowania w całym zakresie badań (a) oraz procedury konwersji wytypowanych popiołów z osadu ściekowego (b): P-600, P-790, P-980 – popioły otrzymane w wyniku obróbki termicznej osadu ściekowego w temperaturze 600° C, 790° C, 980° C; P1-P108 – numer próby.

Wykonałam badania popiołów z osadu po procesie konwersji chemicznej w kierunku zeolityzacji, które obejmowały analizę składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej, pojemność wymiany kationowej na podstawie metodyki przedstawionej w *Standardization of methods for zeolite speciality determination* (Minato, 1997) oraz struktury pozyskanego produktu z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego.

Przesłanką do dalszych badań w aspekcie potencjalnego wykorzystania zeolitu była ocena wymywalności metali ciężkich. Wymywalność metali ciężkich z popiołów przed oraz po procesie konwersji wykonałam według procedury *EP* (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, 1991).

Dla wytypowanych prób o stosunku popiół:NaOH – 1:1,8 z 72 – godzinnym oraz 720 – godzinnym czasem krystalizacji oznaczono powierzchnię właściwą, objętość porów, rozmiar porów prób metodą niskotemperaturowej sorpcji azotu.

Konwersja popiołów z osadów metodą hydrotermalną

Analiza składu fazowego prób P1 – P48

W żadnej próbie z grupy P1 – P48 nie stwierdzono obecności monomineralnych zeolitów. Wyniki potwierdziły obecność składników popiołów, które nie uległy konwersji. Badania wykazały powstanie (hydroksy)sodalitu oraz zeolitu X. Największą liczbę prób zwierających (hydroksy)sodalit stwierdzono po zeolityzacji popiołu P-600, następnie popiołu P-980, a najmniejszą popiołu P-790. Konwersja chemiczna popiołu P-980 skutkowała tym, że oprócz struktury (hydroksy)sodalitu powstał zeolit X (zał.6.s.62 – 64, 171 - 176).

Pojemność wymiany kationowej prób P1- P48

Dla części prób z grupy P1 – P48 pojemność wymiany kationowej była większa od popiołów surowych. Bez względu na zastosowaną temperaturę aktywacji oraz temperaturę krystalizacji próby po zeolityzacji popiołu P-600 (22,8 – 126,104 mval/100g) charakteryzowały większe wartości pojemności wymiany kationowej niż próby po konwersji popiołu P-790 (0,00 – 29,79 mval/100g) i P-980 (0,00 – 44,596 mval/100g). Wyjątkiem była próba otrzymana w wyniku konwersji w temperaturze aktywacji 90°C i temperaturze krystalizacji 60°C o pojemność wymiany kationowej mniejszej o 13,02% od wartości tego parametru dla próby po konwersji popiołu P-980.

Wymywalność metali ciężkich prób P1 – P48

Poziomy stężeń badanych metali ciężkich w eluatach prób P1 – P48 korespondowały z poziomami metali w surowych popiołach P-600, P-790 oraz P-980 (zał.6.s.52, 70 – 72).

Bez względu na temperaturę obróbki termicznej osadu oraz na czas krystalizacji, największe stężenia we wszystkich eluatach ze wszystkich oznaczonych metali ciężkich były cynku (4,9438 – 25,568 mg/dm^3).

Konwersja popiołów z osadów metodą fuzji

Analiza składu fazowego prób P49 – P108

Bez względu na parametry procesu oraz temperaturę obróbki termicznej osadu nie otrzymano monomineralnych zeolitów. W części prób powstał (hydroksy)sodalit, zeolit X, zeolit Y, zeolit P, kankrynit oraz hydroksykankrynit. W próbach były także obecne składniki popiołów, które nie uległy konwersji (zał.6.s.74 – 76, 177 – 184).

Pojemność wymiany kationowej prób P49 – P108

Pojemność wymiany kationowej prób z grupy P49 – P108 była z zakresu 83,611 – 268,282 mval/100g. Wprowadzenie fuzji z jednoczesnym zachowaniem tych samych parametrów reakcji hydrotermalnej spowodowało wzrost pojemności wymiany kationowej prób P49 – P108 w porównaniu do prób popiołów P-600, P-790, P-980 oraz prób po konwersji metodą hydrotermalną. Najmniejsza pojemność wymiany kationowej próby z wprowadzonym etapem fuzji była o 202,6% większa od największej pojemności wymiany kationowej próby otrzymanej w wyniku reakcji hydrotermalnej (zał.6.s.50, 70 – 72, 78 – 80).

Wymywalność metali ciężkich prób P49-P108

Podobnie jak dla konwersji metodą hydrotermalną, największe stężenia we wszystkich eluatach były cynku (1,9312 – 37,54 mg/dm^3). Największe wartości tego metalu w eluatach były po zeolityzacji popiołu P-600, następnie popiołu P-790, a najmniejsze popiołu P-980. Wyjątkiem były stężenia cynku dla prób o 720 godzinnym czasie krystalizacji. Poziomy stężeń były podobne jak w metodzie hydrotermalnej, tj. stężenia cynku w eluatach prób po konwersji popiołu P-790 były większe od prób po zeolityzacji popiołu P-600. 72-godzinny czas krystalizacji sprzyjał mniejszym stężeniom cynku w eluatach prób popiołów po konwersji metodą fuzji, podobnie jak dla metody hydrotermalnej (zał.6.s.70 – 72, 81 – 82).

Wpływ parametrów procesowych na wybrane właściwości uzyskanych materiałów w aspekcie inżynierii środowiska

Ze względu na fakt, że połączone pomiędzy sobą wtórne jednostki budowy (SBU) tworzą przestrzenny szkielet decydujący o właściwościach zeolitów (Mozgawa, 2008), przystępując do analizy statystycznej wyników badań zeolity pogrupowałam na podstawie rodzaju złożonej jednostki strukturalnej na: GIS (zeolit P), SOD (hydroksysodalit oraz sodalit), FAU (zeolit X, zeolit Y), CAN (hydroksykankrynit, kankrynit).

Wyniki badań właściwości próbek[1] otrzymanych w wyniku zeolityzacji stanowiły zestaw cech nieparametrycznych oraz parametrycznych. Do grupy pierwszej należał skład fazowy próbek, do drugiej: pojemność wymiany kationowej, wymywalność metali ciężkich, powierzchnia właściwa,

[1]W analizie statystycznej w tym kontekście stosowanym określeniem jest *próbka*, które nie jest tożsame ze zdrobnioną formą *próby*. Próba (statystyczna) - to zbiór obserwacji statystycznych wybranych z populacji statystycznej.

objętość porów, rozmiar porów. W celu przeprowadzenia analizy statystycznej skład fazowy próbek przekodowałam na system binarny. Każdemu składnikowi fazowemu przypisałam wagi z zakresu od 0 do 1 (zał.6.s.92). Zakładając, że fazami pożądanymi są struktury zeolitowe, przypisałam im wyższe wagi. Nie różnicowałam wartości wag dla struktur nienależących do zeolitów, uznałam je za równorzędnie niepożądane. Rozważyłam także warianty wag dla złożonych jednostek strukturalnych. Dla wariantu A przyjęłam, że powstanie złożonej jednostki strukturalnej SOD, FAU, GIS, CAN jest równoważnie pożądane. Natomiast dla wariantu B przyjęłam wagi zakładając, że bardziej pożądane jest powstanie złożonej jednostki strukturalnej FAU, GIS, CAN niż SOD. Powyższe podejście było podyktowane właściwościami form zeolitowych ważnych w aspekcie wykorzystania między innymi w inżynierii środowiska. Sumę iloczynów wag składu fazowego próbek opisałam jako efekt zeolityzacji (zał.6.s.189 – 193).

Oprócz funkcji regresji w postaci wielomianu stopnia pierwszego posłużyłam się funkcją regresji zawierającej człony liniowe oraz interakcje wszystkich możliwych par czynników (zał.6.s.99). Istotność współczynników funkcji regresji zweryfikowano za pomocą testu F. Eliminację nieistotnych statystycznie składników funkcji regresji wykonano przyjmując jako graniczną wartość poziom istotności $p = 0,1$.

Wpływ temperatury obróbki termicznej osadu

Wpływ temperatury obróbki termicznej osadu na wybrane właściwości popiołów po konwersji przedstawiłam łącznie z wpływem metody konwersji. Było to konsekwencją przyjętego planu eksperymentu, tj. typu dwupoziomowy.

Wpływ metody konwersji - metoda hydrotermalna

Analiza wariantu B dla temperatury obróbki termicznej osadu 600° i 790°C wykazała, że wprowadzenie interakcji do modelu opisującego czynniki determinujące powstanie bardziej pożądanych zeolitów istotnie statystycznie zależy od temperatury aktywacji oraz interakcji dwóch par czynników: stosunek popiół:NaOH z temperaturą obróbki termicznej osadu i temperatura krystalizacji z czasem krystalizacji. Wzrost wartości pierwszej pary czynników nie sprzyja powstawaniu zeolitów (tab.1).

Dla temperatur obróbki termicznej osadu 790°C i 980°C parametrem istotnym statystycznie w modelu z interakcjami jest tylko temperatura obróbki termicznej osadu. Wprowadzenie interakcji do modelu opisującego efekt zeolityzacji nie spowodowało zmian zmiennych niezależnych występujących w modelu próbek o temperaturze obróbki 790°C i 980°C (tab.1; zał.6. s.101).

Model z interakcjami dla próbek o temperaturze obróbki termicznej osadu 600°C i 980°C pokazał, że wyłącznie zmiana stosunku popiołu:NaOH wraz ze zmianą temperatury obróbki termicznej osadu w małym stopniu wpływa na powstanie jednostek strukturalnych typu GIS, SOD, FAU oraz CAN (tab.1).

Tabela 1. Parametry istotne statystycznie w modelach z interakcjami, które opisują efekt zeolityzacji, pojemność wymiany kationowej oraz skorygowany współczynnik determinacji, **metoda hydrotermalna**

Zmienna zależna	Temperatura obróbki termicznej osadu ściekowego		
	600°C, 790°C	790°C, 980°C	600°C, 980°C
Efekt zeolityzacji – wariant B	temp. ak. (+), P/Z · temp. obr. ter. (-), temp. kr. · czas kr. (+), $\check{R}^2 = 0,4751$	temp. obr. ter. (+), $\check{R}^2=0,598$	P/Z · temp. obr. ter. (+), $\check{R}^2 = 0,1533$
Pojemność wymiany kationowej	temp. obr. ter. (-), P/Z · temp. kr. (+), $\check{R}^2 = 0,6535$	P/Z · temp. ak. (-), temp. ak. · temp. kr. (+), temp. ak. · temp. obr. ter. (+), czas kr. · temp. obr. ter. (-), $\check{R}^2 = 0,5006$	P/Z (+), temp. obr. ter. (+), P/Z · temp. obr. ter. (-), $\check{R}^2 = 0,664$

temp.kr.- temperatura krystalizacji; czas kr. – czas krystalizacji; temp. ob. ter. - temperatura obróbki termicznej osadu; temp. ak.- temperatura aktywacji; P/Z – stosunek popiół:NaOH; (-) – ujemny wpływ czynnika; (+) – dodatni wpływ czynnika

Oceniając wpływ zmiennych niezależnych na pojemność wymiany kationowej w modelu z interakcjami stwierdziłam, ujemny wpływ temperatury obróbki termicznej osadu oraz dodatni wpływ zmiany stosunku popiół:NaOH ze zmianą temperatury krystalizacji dla prób o niższej temperaturze obróbki termicznej osadu (tab.1).

Interakcje następujących parametrów statystycznie istotnie wpływają na pojemność wymiany kationowej próbek popiołów P-790 i P-980: temperatury aktywacji z temperaturą krystalizacji, temperatury aktywacji z temperaturą obróbki termicznej osadu, stosunek popiół:NaOH z temperaturą aktywacji oraz czas krystalizacji z temperaturą obróbki termicznej osadu. Zgodnie z otrzymanym modelem interakcje dwóch pierwszych par zmiennych niezależnych spowodowały wzrost wartości pojemności wymiany kationowej. Wpływ dwóch pozostałych par czynników był skorelowany ze spadkiem pojemności wymiany kationowej prób (tab.1).

Analiza interakcji pomiędzy zmiennymi niezależnymi dla próbek popiołów P-600 i P-980 wykazała, że istnieje oddziaływanie pomiędzy stosunkiem popiół:NaOH a temperaturą obróbki termicznej osadu o ujemnym wpływie na wartości pojemności wymiany kationowej. Do pozostałych parametrów istotnych statystycznie należy stosunek popiół:NaOH oraz temperatura obróbki termicznej osadu, a oddziałując łącznie mają mniejszy wpływ niż oddzielnie. Temperatura obróbki termicznej osadu zmniejsza korzystny wpływ wzrostu stosunku popiół:NaOH (tab.1).

Analiza statystyczna próbek z niższymi temperaturami obróbki termicznej osadu wykazała, że żadna zmienna niezależna nie była istotna statystycznie w modelach wymywalności chromu oraz niklu. Parametrem istotnym statystycznie występującym w największej liczbie modeli była temperatura obróbki termicznej osadu, tj. dla cynku, kobaltu i miedzi. Istotna statystycznie okazała się także interakcja temperatury obróbki termicznej z temperaturą aktywacji, z temperaturą krystalizacji

oraz z czasem krystalizacji. Stosunek popiół:NaOH był istotny statystycznie w interakcji z temperaturą krystalizacji oraz czasem krystalizacji wyłącznie dla wymywalności ołowiu (zał.6.s.104).

W modelach z interakcjami opisującymi wpływ czynników na wymywalność metali ciężkich z próbek popiołów P-790 i P-980 w największej liczbie przypadków była istotna statystycznie temperatura aktywacji (nikiel, cynk, kobalt, miedź) oraz temperatura obróbki termicznej osadu (nikiel, cynk, miedź). W przypadku niklu, wymywalność zależała istotnie statystycznie od największej liczby zmiennych niezależnych. Ponadto temperatura obróbki termicznej osadu w interakcji z temperaturą aktywacji, podobnie jak w interakcji z temperaturą krystalizacji miała korzystny wpływ na wymywalność niklu (zał.6.s.104).

Wpływ metody konwersji - metoda fuzji

Stwierdziłam, że oddziaływanie pomiędzy temperaturą aktywacji a czasem krystalizacji ujemnie wpływa na powstanie struktur zeolitów dla próbek z zestawu temperatur 600°C i 790°C oraz 600°C z 980°C (tab.2). Dla próbek z zestawu temperatur 790°C i 980°C na powstanie preferowanych struktur zeolitowych istotnie statystycznie wpływa interakcja temperatury aktywacji z temperaturą krystalizacji i jest to wpływ ujemny (tab.2).

Tabela 2. Parametry istotne statystycznie w modelach z interakcjami, które opisują efekt zeolityzacji w wariancie B, pojemność wymiany kationowej oraz skorygowany współczynnik determinacji, **metoda fuzji**

Zmienna zależna	Temperatura obróbki termicznej osadu ściekowego		
	600°C, 790°C	790°C, 980°C	600°C, 980°C
Efekt zeolityzacji – wariant B	P/Z ·czas kr. (+), P/Z · temp. ob. ter. (+), temp. akt. · czas kr. (-), $\check{R}^2 = 0,5037$	P/Z · temp. ob. ter. (+), temp. akt. · temp. kr. (-), $\check{R}^2 = 0,2031$	P/Z · czas kr. (+), P/Z · temp. ob. ter. (+), temp. akt. · czas kr. (-), $\check{R}^2 = 0,5499$
Pojemność wymiany kationowej	P/Z (-), P/Z · temp. ob. ter. (-), temp. kr. · czas kr. (+), $\check{R}^2 = 0,736$	P/Z (-), P/Z · temp. ob. ter. (-), temp. kr. · czas kr. (+), $\check{R}^2 = 0,6923$	P/Z (-), P/Z · temp. ob. ter. (-), temp.kr. · temp. ob. ter. (+), $\check{R}^2 = 0,7883$

temp.ob.ter. – temperatura obróbki termicznej osadu; temp. akt. – temperatura aktywacji; temp.kr. – temperatura krystalizacji; czas kr. – czas krystalizacji; P/Z – stosunek popiół:NaOH; (-) – ujemny wpływ czynnika; (+) – dodatni wpływ czynnika

Analiza statystyczna czynników wpływających na pojemność wymiany kationowej wykazała, że dla próbek z każdego zestawu temperatur obróbki termicznej istotny statystycznie jest stosunek popiół:NaOH oraz interakcja stosunku popiół:NaOH z temperaturą obróbki termicznej. Dla próbek z zestawu temperatur 600°C z 790°C oraz 790°C z 980°C oddziaływanie temperatury krystalizacji łącznie z czasem krystalizacji ma stymulujący wpływ na wzrost pojemności wymiany kationowej. Wyłącznie w modelu dla próbek z zestawu temperatur 600°C z 980°C stwierdziłam interakcję

temperatury krystalizacji z temperaturą obróbki termicznej osadu. Wpływa ona korzystnie na wzrost pojemności wymiany kationowej (tab.2).

Czynnikiem istotnym statystycznie w największej liczbie otrzymanych modeli opisujących wymywalność metali jest temperatura obróbki termicznej osadu oraz temperatura obróbki termicznej z interakcją z innym parametrem procesu konwersji tj., temperaturą krystalizacji, czasem krystalizacji, stosunkiem popiół:NaOH oraz temperaturą aktywacji (zał.6.s.114).

Optymalizacja wielokryterialna właściwości popiołów z osadu ściekowego po konwersji

W celu dokonania kompleksowej oceny badanych właściwości próbek popiołów z osadu po zeolityzacji, zastosowałam metodę optymalizacji wielokryterialnej wykorzystującą funkcję uogólnionej użyteczności. Przyjęłam, że materiał po konwersji będzie wykorzystany w inżynierii środowiska, a szczególnie do usuwania zanieczyszczeń z odcieków składowiskowych oraz wód zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Podstawę przyjęcia kryteriów oceny oraz przedziałów zadawalających dla wartości parametrów charakteryzujących właściwości próbek stanowiło Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. poz.1800, 2014).

Próbka o największej wartości funkcji użyteczności całkowitej była otrzymana w wyniku aktywacji i krystalizacji w temperaturze 90°C popiołu P-600 przez 72 godziny i stosunku popiół: NaOH – 1:1,8 (metoda fuzji). Największą użyteczność całkowitą z zestawu próbek metody hydrotermalnej miał popiołu P-600 o stosunku popiół:NaOH – 1:1,8 oraz temperaturze aktywacji 90°C, temperaturze krystalizacji 60°C oraz czasie krystalizacji 72 godziny. Próbka otrzymana w wyniku konwersji metodą fuzji miała większą wartość użyteczności całkowitej (U = 0,71) od próbki po zeolityzacji metodą hydrotermalną (U = 0,66).

Propozycje zastosowań zeolitów z popiołów z osadów ściekowych w oczyszczaniu wód i ścieków

Przeprowadziłam badania laboratoryjne nad możliwością zastosowania zmodyfikowanych popiołów z osadu do oczyszczania wód zanieczyszczonych metalami ciężkimi. W badaniach wykazałam wysoką skuteczność usuwania ołowiu, miedzi, kadmu i niklu z monoroztworów. W wykonanych doświadczeniach statycznych skuteczność usuwania metali ciężkich wynosiła ponad 90%. Po czasie kontaktu 10 minut materiały skutecznie usunęły jony miedzi i ołowiu, a po 120 minutach jony kadmu, do poziomu dopuszczalnego dla ścieków odprowadzanych do wód lub do ziemi. Natomiast mimo redukcji stężenia niklu na poziomie 90% nie otrzymałam stężenia spełniającego wymogi jakości ścieków odprowadzanych do wód lub do ziemi (zał.6.s.138 – 141).

Wykonałam badania eliminacji zanieczyszczeń z odcieków ze składowiska odpadów komunalnych w Promniku z wykorzystaniem popiołu z osadu poddanego zeolityzacji metodą fuzji. Uzyskane wyniki wykazały, że zmodyfikowany popiół można wykorzystać do usuwania jonów kadmu, miedzi i ołowiu. Jednak nie spowodował on redukcji niklu, chromu oraz cynku. Wpływ zmodyfikowanego

popiołu na redukcję ChZT był na poziomie 15 – 19%, ogólnego węgla organicznego w granicach 6,8 – 14,3% oraz barwy na poziomie 25%. Zatem stosowanie popiołów z osadu po zeolityzacji do oczyszczania odcieków nie przynosi zadowalających rezultatów, podobnie jak stosowanie do tego celu popiołu surowego (zał.6.s.143 – 146).

Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań

Przeprowadzone badania upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

- temperatura obróbki termicznej osadu jest czynnikiem o mało istotnym wpływie na pojemność wymiany kationowej, skład fazowy, wymywalność metali ciężkich popiołów po konwersji, zarówno metodą hydrotermalną jak i metodą fuzji,
- powstanie struktur zeolitów, pojemność wymiany kationowej oraz wymywalność metali ciężkich są przede wszystkim determinowane czasem krystalizacji,
- konwersja metodą fuzji korzystniej wpływa na pojemność wymiany kationowej popiołów z osadu niż metoda hydrotermalna,
- metoda fuzji sprzyja w większym stopniu tworzeniu struktur zeolitów aniżeli metoda hydrotermalna,
- w wyniku eksperymentu nie otrzymano monomineralnych zeolitów,
- wzrost stosunku popiół:NaOH dla prób poddawanych konwersji metodą fuzji oraz metodą hydrotermalną powoduje spadek pojemności wymiany kationowej (wyjątkiem jest popiół P-600 podany konwersji metodą hydrotermalną o temperaturze aktywacji 90°C),
- bez względu na zastosowaną metodę konwersji popiołów z osadu największe stężanie w eluatach stwierdzono dla cynku,
- optymalizacja wielokryterialna uwzględniająca aspekt ochrony środowiska potwierdziła, że konwersja metodą fuzji korzystniej wpływa na właściwości popiołów z osadu niż metodą hydrotermalną.
- w kontekście potencjalnego wykorzystania popiołów z osadów ściekowych w inżynierii środowiska badane właściwości zmodyfikowanych materiałów w wyniku zeolityzacji są korzystniejsze od popiołów surowych,
- popioły z osadów po konwersji metodą fuzji mogą być stosowane do usuwania metali ciężkich (ołowiu, miedzi, kadmu i niklu) z wód zanieczyszczonych metalami,
- popioły z osadów po procesie zeolityzacji metodą fuzji mogą być wykorzystane do usuwania jonów kadmu, miedzi i ołowiu z odcieków składowiskowych.

Możliwość wykorzystania wyników badań

Uważam, że otrzymane wyniki mogą być pomocne przy przyjmowaniu parametrów procesu zeolityzacji podczas prowadzenia dalszych badań o tej tematyce. Dobierając odpowiednie warunki prowadzenia procesu zeolityzacji popiołu z osadów ściekowych możliwe jest otrzymanie materiału

o największej wartości pojemności wymiany kationowej, powierzchni właściwej, a najmniejszej wymywalności metali ciężkich, to jest cech istotnych ze względu na zastosowanie materiału w inżynierii środowiska. Zaproponowana metoda modyfikacji popiołów z osadów ściekowych pozwala na ograniczenie materiału odpadowego, ponieważ po zużyciu jako sorbent miedzi, ołowiu lub kadmu może być, jak wskazują doniesienia literaturowe, składnikiem mieszanek asfaltowych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Poza przedstawioną powyżej problematyką badawczą można wyróżnić kilka nurtów związanych z moimi osobistymi zainteresowaniami oraz kierunkami badań prowadzonymi w Katedrze Technologii Wody i Ścieków, od 2007 rok w Katedrze Inżynierii i Ochrony Środowiska, a od 2015 roku w Katedrze Geotechniki, Geomatyki i Gospodarki Odpadami oraz współpracy z naukowcami z krajowych uczelni.

5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora

Podejmując pracę naukową w Politechnice Świętokrzyskiej rozpoczęłam badania mające na celu weryfikację hipotezy badawczej, że osady ściekowe dzięki zawartości materii organicznej wprowadzone do spieków ceramicznych mogą być wykorzystane jako dodatek spęczniający w zestawie surowcowym do produkcji keramzytu. Keramzyt, kruszywo lekkie otrzymywane jest w wyniku wypalenia w temperaturze 1140 – 1200°C naturalnego surowca pęczniejącego.

W całym spektrum badań wykorzystałam surowiec ilasty ze złoża Budy Mszczonowskie, które było wówczas eksploatowane przez Przedsiębiorstwo Kruszyw Lekkich „Keramzyt" w Mszczonowie. Dodatkiem był osad ściekowy z oczyszczalni ścieków komunalnych Sitkówka – Nowiny k/Kielc.

Badania związane z omawianym zagadnieniem rozpoczęłam od określenia wpływu udziału dodatku odpadu na temperatury charakterystyczne spieku. Badania w mikroskopie wysokotemperaturowym dla 0% 5%, 10%, 15% oraz 20% udziału masowego osadu wykazały, że dodatek osadu podwyższa zdolność do pęcznienia oraz obniża temperaturę mięknienia spieków. Tym samym przy większym udziale osadu należy obniżyć temperaturę obróbki termicznej (zał.4.II.2a, zał.4.II.1e, zał.4.II.5e, zał.4.II.9e).

Dalsze badania nad tym zagadnieniem realizowałam w ramach projektu *Badanie wpływu dodatku osadów ściekowych na właściwości spieków ceramicznych do produkcji kruszyw lekkich typu keramzytu* finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (zał.4.II.2j).

W celu potwierdzenia, że substancje organiczne zawarte w komunalnych osadach ściekowych można wykorzystać jako środek poprawiający izolacyjność kruszywa keramzytowego oznaczyłam gęstość pozorną i porowatość całkowitą spieków. Wyniki badań spieków potwierdziły, że wzrostowi temperatury wypalania prób towarzyszył wzrost porowatości i spadek gęstości pozornej (zał.4.II.2a). Stwierdziłam, że występuje optymalny 5 i 10% udział masowy osadu w mieszance surowcowej, przy którym spiek cechuje się najmniejszą gęstością pozorną, przy jednocześnie największej porowatości

całkowitej. Wzrost porowatości stabilizował się na poziomie około 15% udziału osadu. Równolegle do wzrostu porowatości odnotowałam spadek gęstości pozornej (zał.4.II.3e).

Nawiązałam współpracę z Przedsiębiorstwem Kruszyw Lekkich „Keramzyt" w Mszczonowie, w wyniku której wykonano badania w warunkach technicznych. Celem badań było potwierdzenie technologicznej przydatności osadu ściekowego do produkcji keramzytu oraz ocena jakości produktu. Ciąg technologiczny do produkcji keramzytu wraz z wartościami parametrów pracy urządzeń podczas próby przemysłowej przedstawiono w pracach (zał.4.II.14f, zał.4.II.15f, zał.4.II.20f), a właściwości fizyczno-chemiczne użytych surowców w publikacjach (zał.4.II.1a, zał.4.II.6e, zał.4.II.12f). W trakcie próby przemysłowej badano poziomy emisji zanieczyszczeń w spalinach. Otrzymane wyniki potwierdziły, że dodatek osadu ściekowego nie spowodował przekroczenia dopuszczalnych wartości: pyłu, dioksyn, furanów, SO_2, NO_x, CO, Zn, Pb, Cd, Cu, Cr (zał.4.II.1a, zał.4.II.8e, zał.4.II.40e, zał.4.II.20f).

Na podstawie wyników badania kruszywa z próby technicznej stwierdziłam, że kruszywo spełnia parametry marki 7,5 (zał.4.II.21f). W wyniku nawiązanej współpracy z Wydziałem Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo-Hutniczej, badano właściwości izolacyjne kruszywa z próby technicznej (zał.4.II.18f).

Zbadałam poziom ługowania metali ciężkich z kruszywa. Ze względu na ówczesny brak norm określających sposób przygotowania wyciągu z kruszywa, wykonałam badania zgodne z testami stosowanymi na użytek badań materiałów budowlanych i surowców odpadowych (zał.4.II.1a, zał.4.II.7e). Badanie wymywalności metali ciężkich potwierdziło, że w eluatach przygotowanych według wszystkich procedur poziomy stężenia metali nie przekroczyły limitów ustalonych według *The Environmental Protection Agency* (EPA). Stężenia metali ciężkich w eluatach przygotowanych według metody *Maximal Leaching*, metody działającej silnie destrukcyjnie na matrycę próby, spełniły wymogi dla wód powierzchniowych, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska Dz.U. Nr 204, poz. 1728, 2002 (zał.4.II.1a). Potwierdzono, że substancje popiołowe z osadów wbudowują się w strukturę spieku ceramicznego (zał.4.II.8e, zał.4.II.17f, zał.4.II.23f, zał.4.II.24f).

W publikacji zał.4.II.4e przedstawiłam rezultaty porównawczej analizy ekonomicznej dla trzech oczyszczalni ścieków z Polski centralnej. Wynika z nich, że zastosowanie osadów ściekowych jako dodatku do produkcji keramzytu przyniesie wymierne korzyści ekonomiczne oczyszczalniom ścieków. Wykazałam, że zastosowanie omawianej metody wykorzystania osadów ściekowych pozwala odzyskać materię i energię z osadów w sposób bezpieczny dla środowiska (zał.4.II.9e).

Równolegle do powyżej opisanych działań brałam udział w terenowych badaniach migracji zanieczyszczeń w gruncie techniką termowizyjną. Prace realizowane w 2000 roku w Politechnice Świętokrzyskiej na Wydziale Budownictwa Lądowego były finansowane z Gminnego Funduszu Ochrony Środowiska w Kielcach (zał.4.II.1j). Na podstawie obserwacji składowisk odpadów w Ostrowcu i Promniku wykazano, że technika termowizyjna może być wykorzystana do zdalnej

oceny „z lotu ptaka" nieszczelności na składowisku oraz migracji biogazu i odcieków (zał.4.II.7f, zał.4.II.11f, zał.4.II.49f).

5.2. Po uzyskaniu stopnia doktora

Wykorzystanie odpadów w produkcji materiałów budowlanych

Część materiałów budowlanych podczas produkcji wymaga nie tylko surowca o zadanych parametrach, ale także obróbki termicznej. Jednym z nich jest keramzyt, którego technologię produkcji wykorzystałam do unieszkodliwiania osadów ściekowych w toku badań przedstawionych w dysertacji doktorskiej. W wyniku nawiązanej w 2008 roku współpracy z naukowcami z Politechniki Lubelskiej kontynuowałam badania w tym obszarze. W publikacjach zał.4.II.3a, zał.4.II.10e, zał.4.II.27f wykazano, że glaukonit zużyty do usuwania cynku z popłuczyn kąpielowych cynkowania może być składnikiem zestawu surowcowego keramzytu. Dodatek zużytego glaukonitu w zestawie stanowił 10%, 15%, 20% i 25% masowo. Badania wymywalności cynku według procedury *Maximum Leaching* wykazały, że zmiana ilości zużytego glaukonitu w kruszywie nie powoduje istotnych zmian stężeń wyługowanego metalu. Zużyty glaukonit wbudował się w strukturę spieku, powodując jednocześnie pożądane zwiększenie jego porowatości.

Kolejnym wątkiem z zakresu wykorzystania odpadów w materiałach budowlanych były badania wpływu udziału popiołu z osadu ściekowego na wytrzymałość na ściskanie zaczynów cementowych oraz na czas wiązania zaczynów cementowych. W wykonanych zaczynach cement zastąpiono popiołem z osadu w ilości 10%, 20% oraz 30% masowo. Wyniki badań przedstawione w pracy zał.4.II.33e pozwoliły na stwierdzenie, że stosunek ilości popiołu z osadu do cementu w spoiwie jest odwrotnie proporcjonalny do narastania wytrzymałości wczesnej oraz wprost proporcjonalny do narastania wytrzymałości zaczynów po 90 dniach dojrzewania. Częściowa substytucja spoiwa popiołem z osadu nie powoduje negatywnych zmian właściwości zaczynów cementowych. Wykazano, że optymalna ilość popiołu z osadu do cementu wynosi 20%, ponieważ pozwala na utrzymanie właściwości użytkowych zaczynów.

W toku realizacji Grantu Sonata stwierdziłam, że dodatek popiołów z osadów ściekowych można wykorzystać jako pigment do barwienia zapraw cementowych. Stanowiło to podstawę opracowania zgłoszenia patentowego (zał.5.3q).

Analiza mobilności metali ciężkich z osadów ściekowych

W latach 2009 – 2014 moja aktywność naukowa była związana z tematyką mobilności metali ciężkich z osadów ściekowych. W aspekcie przyrodniczego, w tym rolniczego, wykorzystania komunalnych osadów ściekowych jednym z kryteriów decydujących o ich możliwości zastosowania są stężenia metali ciężkich w osadach. W osadach ściekowych metale ciężkie występują w formach rozpuszczalnych, wymiennych i zaadsorbowanych, mogących łatwo rozprzestrzeniać się w środowisku wodno-gruntowym oraz w połączeniach z organicznymi ligandami lub w sieciach krystalicznych. Za najbardziej mobilne uważane są metale występujące w związkach rozpuszczalnych

w wodzie oraz metale związane z węglanami. Metale związane z tlenkami żelaza i manganu są uwalniane do środowiska znacznie wolniej, w zależności od warunków odczynu (pH) oraz potencjału oksydacyjno-redukcyjnego. Za metale potencjalnie niemobilne uważa się te, które tworzą trwałe połączenia z materią organiczną lub występują pod postacią siarczków. Za połączenia niedostępne uważa się metale związane z glinokrzemianami. Obowiązujące limity dotyczą sumarycznych zawartości ołowiu, kadmu, rtęci, niklu, cynku, miedzi, chromu, nie uwzględniają form metali ciężkich zawartych w osadach ściekowych. Współczesne narzędzia analityczne umożliwiają ocenę realnego zagrożenia spowodowanego ekspozycją gruntów osadami ściekowymi zawierającymi metale ciężkie, a ich bezpośredni transfer do gruntów dotyczy jedynie form mobilnych. Najczęściej stosowanym sposobem identyfikacji frakcji metali w próbach osadów ściekowych jest czterostopniowa procedura opracowana przez *European Community Bureau of Reference* (BCR). Wyniki badań frakcji metali ciężkich w osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków komunalnych w Daleszycach, Małogoszczy, Skarżysku – Kamienna, Kostomłotach Laskowa, Busku – Siesławice, Sitkówce – Nowiny, Pacanowie, Gnojnie, Barczy, Ostrowcu Świętokrzyskim, Starachowicach, Sandomierzu, Strawczynie, Sobkowie, Olsztynie oraz Jędrzejowie przedstawiono w publikacjach: zał.4.II.11e-14e, zał.4.II.16e, zał.4.II.19e, zał.4.II.20e, zał.4.II.23e, zał.4.II.26e, zał.4.II.26f, zał.4.II.29f, zał.4.II.31f, zał.4.II.34f, zał.4.II.38f. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że badane osady ściekowe stwarzają mniejsze zagrożenie w środowisku, niż to wynika z obowiązujących uregulowań prawnych. Udział mobilnych frakcji metali ciężkich w osadach ściekowych jest zazwyczaj niewielki. Zmiany limitów metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych przeznaczonych do stosowania przyrodniczego powinny uwzględniać formy metali ciężkich.

Oczyszczanie odcieków ze składowisk odpadów komunalnych

Równolegle do omówionych aktywności naukowych, w latach 2011 – 2012 brałam udział w badaniach realizowanych w Politechnice Świętokrzyskiej, które dotyczyły oczyszczania odcieków ze składowisk odpadów komunalnych z wykorzystaniem pogłębionego utleniania. Wyniki badań pozwoliły na stwierdzenie, że wykorzystując reakcję Fentona oraz popiół ze spalania węgla lub popiół ze spalania biomasy można poprawić efektywność usuwania barwy i utlenialności z odcieków (zał.4.II.21e, zał.4.II.32f). Otrzymane wyniki były podstawą do sformułowania zgłoszenia patentowego, a następnie uzyskania ochrony patentowej (zał.4.II.1c).

Wpływ obróbki termicznej komunalnych osadów ściekowych na wybrane właściwości popiołu

Wyniki przedstawione w publikacji zał.4.II.5a dowodzące, że mobilność chromu, niklu, kadmu, ołowiu z popiołów z osadu ściekowego nie zależy istotnie od temperatury spalania, a mobilność miedzi i cynku wzrasta podczas spalania w zakresie temperatur 850 – 1000°C, były przesłanką do kontynuowania dalszych prac nad tym zagadnieniem. Badania były jednym z wątków badawczych Grantu SONATA, który realizowałam w latach 2012 – 2016 (zał.4.II.3j). Badania skoncentrowałam na analizie wpływu temperatury i czasu spalania komunalnych osadów ściekowych na mobilność

metali ciężkich z popiołów. Badania zrealizowałam zgodnie z dwuczynnikowym planem kompozycyjnym Boxa. Eksperyment przeprowadzono dla temperatur spalania z zakresu 600°C – 980°C oraz czasów spalania 2 minuty – 20 minut. Frakcje metali ciężkich oznaczono stosując procedurę ekstrakcji sekwencyjnej BCR. Średnie zawartości metali w popiołach z osadu były następującej kolejności: Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb. Stężenia chromu, cynku, miedzi i niklu w popiołach z osadu były wyższe w porównaniu do stężeń w osadzie. Wyniki badań mobilności metali ciężkich z popiołów z osadu dla zadanych czasów i temperatur spalania nie pozwoliły na uzyskanie modeli statystycznych, które opisywałyby wpływ wyżej wymienionych parametrów na mobilność kadmu, chromu i ołowiu. Wykazano, że temperatura, a nie czas spalania osadów ściekowych, ma statystycznie istotny wpływ na mobilność niklu i miedzi (zał.4.II.8a). Istotny statystycznie wpływ temperatury spalania na wymywalność cynku, ołowiu wykazałam w pracach: zał.4.II.30e, zał.4.II.31e.

W badaniach popiołów pobranych z instalacji obróbki termicznej osadów ściekowych spalanych w piecu rusztowym oraz w piecu ze złożem fluidalnym wykazałam, że w popiołach dominują frakcje metali ciężkich uważane za niemobilne. Były to metale związane z glinokrzemianami, siarczanami i trwałymi połączeniami metaloorganicznymi (zał.4.II.6a, zał.4.II.41f). Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że zastosowana technologia spalania osadów ściekowych nie miała wpływu na mobilność metali ciężkich z popiołów (zał.4.II.6a, zał.4.II.41f). W pracy zał.4.II.43f skonkludowałam, że w celu oceny potencjalnego wpływu metali ciężkich z popiołów z osadów ściekowych na środowisko powinno być zalecane wykonanie badań mobilności metali ciężkich według procedury BCR.

Biosuszenie odpadów komunalnych

W latach 2014 - 2018 byłam członkiem zespołu realizującego w Politechnice Świętokrzyskiej projekt badawczy dotyczący biosuszenia odpadów (zał.4.II.8j). Biologiczne suszenie jest stosunkowo nowym kierunkiem w gospodarce odpadami komunalnymi. Głównym celem biosuszenia jest produkcja paliwa alternatywnego, natomiast pośrednim - ustabilizowanie odpadów kierowanych na składowisko. Publikacje zał.4.II.7a, zał.4.II.24e, zał.4.II.2f, zał.4.II.37f, zał.4.II.42f przedstawiają wyniki badań mających na celu weryfikację skuteczności pracy przemysłowego reaktora biosuszenia. Reaktor jest częścią linii technologicznej mechaniczno – biologicznej przeróbki odpadów komunalnych w jednej z Regionalnych Instalacji Przeróbki Odpadów Komunalnych w województwie świętokrzyskim. Wyniki badań wykazały, że wartość opałowa frakcji 20-80 mm odpadów po biosuszeniu nie spełniała wymogów normy PN-EN15359 dla *Refuse Derived Fuel*. Frakcja odpadów 20-80 mm po biosuszeniu została sklasyfikowana według wartości opałowej i ilości rtęci do ostatniej piątej klasy. Zatem odpady mogą zostać przekształcone w paliwo, co w znacznym stopniu zmniejszy ilość odpadów komunalnych kierowanych na składowisko.

5.3. Podsumowanie dorobku naukowego

Podsumowując przed uzyskaniem stopnia doktora brałam aktywny udział w 10 konferencjach naukowych, w tym 5 międzynarodowych. Byłam współautorką 6 prac opublikowanych w czasopismach oraz 1 zgłoszenia patentowego.

Po uzyskaniu stopnia doktora, poza monografią stanowiącą osiągnięcie naukowe, opublikowałam łącznie 82 prace, w tym 8 prac wyróżnionych w bazie Journal Citation Reports, 28 prac w innych czasopismach nie wyróżnionych w bazie JCR, a będących na liście MNiSW, 10 artykułów stanowiących rozdziały w monografiach oraz 28 prac w recenzowanych materiałach konferencyjnych, w tym 6 wyróżnionych w bazie w *Web of Science*. Byłam współautorką jednego patentu oraz dwóch zgłoszeń patentowych.

Łączna punktacja mojego dorobku naukowego wynosi 590 punktów, a ich łączna miara oddziaływania *IF* zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 6,981.

Mój średni udział w opublikowanych pracach naukowych wynosi 58,92%

Po uzyskaniu stopnia doktora aktywnie uczestniczyłam w 13 krajowych konferencjach naukowych oraz 10 konferencjach międzynarodowych, w tym 2 zagranicznych (zał.5.11b-32b). Ponadto dwukrotnie wygłosiłam referaty zamawiane na Ogólnopolskim Panelu Eksperckim ds. Gospodarki Odpadami (zał.5.3n-4n), a na pięciu krajowych konferencjach tematycznych wygłosiłam referaty zamawiane z zakresu m.in. gospodarki odpadami komunalnymi oraz wykorzystania komunalnych osadów ściekowych (zał.4.II.3l-7l).

Za aktywność naukową zostałam nagrodzona indywidualną nagrodą II stopnia J.M. Rektora Politechniki Świętokrzyskiej za dorobek, zespołową nagrodą III stopnia J. M. Rektora Politechniki Świętokrzyskiej za osiągnięcia naukowe oraz nagrodą III stopnia J.M. Rektora Politechniki Świętokrzyskiej za oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe (zał.4.II.1k-3k).

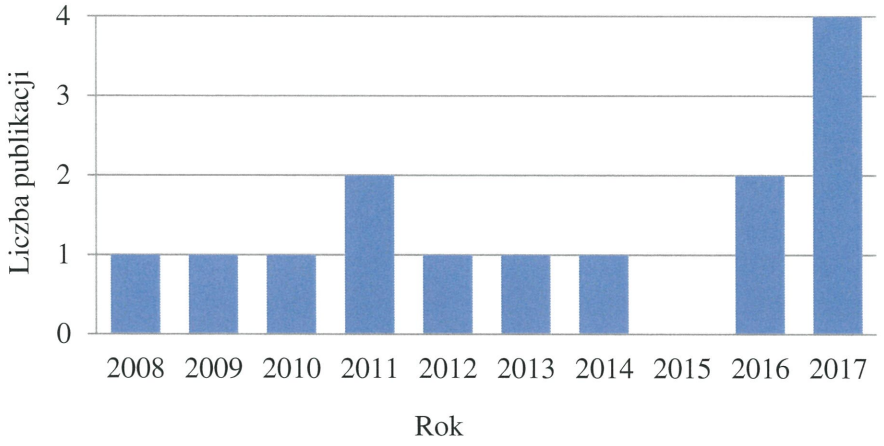
Mój dorobek naukowy zestawiłam w tabelach 3 - 4. Liczbę publikacji w poszczególnych latach według bazy Web of Science przedstawiłam na rysunku 2.

Tabela 3. Dane bibliometryczne dorobku naukowego

Wyszczególnienie	Przed doktoratem	Po doktoracie	Ogółem
Publikacje w czasopismach wyróżnionych w bazie JCR	-	8	8
Publikacje w czasopismach punktowanych nie wyróżnionych w bazie JCR	6	28	34
Monografie	-	2	2
Rozdziały w monografiach	-	10	10
Publikacje w czasopismach branżowych niepunktowanych	-	5	5
Patenty	-	1	1
Zgłoszenia patentowe	1	2	3

Tabela 4. Wskaźniki dorobku naukowego

Sumaryczny *impact factor* według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	6,981
Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)	37 (bez autocytowań) 44 (całkowita)
Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	5
Liczba publikacji w bazie Web of Science (WoS)	14
Liczba cytowań publikacji według bazy Google Scholar	125
Indeks Hirscha według bazy Google Scholar	6
Liczba publikacji w bazie Google Scholar	57



Rys.2. Zestawienie liczby indeksowanych publikacji w poszczególnych latach wg Web of Science, okres po doktoracie

6. Omówienie osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych

6.1. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska

W ramach działalności dydaktycznej na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki prowadzę zajęcia na kierunku Inżynieria Środowiska na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych, oraz na kierunku Odnawialne Źródła Energii na studiach stacjonarnych. Realizuję zajęcia z przedmiotów m.in.: Gospodarka Osadami Ściekowymi, Gospodarka Odpadami, Usuwanie i Unieszkodliwianie Odpadów, Technologie Przeróbki Odpadów, Sanitacja Miast, Technologie Pozyskiwania i Zagospodarowania Biomasy, Biopaliwa i Paliwa Alternatywne, Biogazownie (zał.5.5i). Jestem autorką/współautorką opracowanych treści programowych zgodnych z Krajowymi Ramami Kwalifikacji dla przedmiotów, które prowadzę (zał.5.6i).

Byłam członkiem Komisji Egzaminacyjnej powołanej do przeprowadzenia obron prac dyplomowych uczestników studiów podyplomowych on-line Odnawialne Źródła Energii na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej (zał.5.12q).

Aktywnie uczestniczę w popularyzacji nauki wśród studentów oraz młodzieży. Byłam prelegentem podczas Powiatowego Konkursu Ekologicznego, Dnia Otwartego Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki. W swoich wystąpieniach prezentowałam treści związane z gospodarką odpadami. Byłam organizatorem, współorganizatorem oraz opiekunem wyjazdów studyjnych studentów studiów stacjonarnych kierunku Inżynieria Środowiska na obiekty techniczne związane z gospodarką odpadami komunalnymi oraz gospodarką wodno-ściekową (zał.5.1i-3i).

Prowadziłam zajęcia ćwiczeniowe oraz wykładowe dla młodzieży ponadgimnazjalnej w ramach realizacji projektu *Specjalizacja zawodowa dla branży horyzontalnej – zrównoważony rozwój energetyczny na potrzeby świętokrzyskiego przemysłu*. Projekt był finansowany przez Urząd Marszałkowski Województwa Świętokrzyskiego. Uczestnicząc w realizacji projektu *Absolwent Politechniki Świętokrzyskiej – inżynier na miarę potrzeb współczesnej gospodarki* prowadziłam wykłady dla studentów Wydziałów: Mechatroniki i Budowy Maszyn; Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki oraz Inżynierii Środowiska Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej. Projekt był finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (zał.5.2a-3a).

Jestem autorem materiałów dydaktycznych z przedmiotu Gospodarka odpadami oraz audiowizualnego modułu wykładów i ćwiczeń z przedmiotu Gospodarka odpadami w ramach studiów podyplomowych on-line w zakresie Odnawialne źródła energii (zał.5.7i-8i).

Na kierunku Inżynieria Środowiska na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych byłam promotorem 48 prac inżynierskich oraz 19 prac magisterskich, w tym jednej wyróżnionej (zał.5.1j-2j). Byłam autorem 23 recenzji prac dyplomowych (zał.5.3j). Byłam promotorem 8 prac dyplomowych na studiach podyplomowych on-line Odnawialne źródła energii (zał.5.4j).

Pełnię funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr inż. Marleny Dębickiej pt: Badania dynamiki biosuszenia, który prowadzony jest na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki. Promotorem tej rozprawy jest prof. dr hab. inż. Maria Żygadło (zał.5.1k).

Pełniłam funkcję opiekuna Specjalności Unieszkodliwianie Ścieków i Odpadów na kierunku Inżynieria Środowiska oraz pięciokrotnie funkcję opiekuna roku na kierunku Inżynieria Środowiska (zał.5.10q-11q).

Byłam członkiem oraz członkiem seniorem American Association for Science and Technology. Aktualnie jestem członkiem zwyczajnym Kieleckiego Towarzystwa Naukowego oddział PAN Kraków, członkiem sekcji branżowej Zarządu Głównego Polskiego Związku Inżynierów i Techników Sanitarnych Sekcji Gospodarki Odpadami oraz sekretarzem koła Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych przy Politechnice Świętokrzyskiej (zał.5.1h-4h).

W 2017 roku byłam recenzentem jednego wniosku w ramach Cooperability Program, My First Collaboration Grant organizowanego przez Unity Through Knowledge Fund, Chorwacja (zał.5.1o).

Podczas realizacji prac badawczych współpracowałam z naukowcami z jednostek naukowych w kraju: Akademia Górniczo – Hutnicza (Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki), Politechnika Lubelska (Wydział Budownictwa i Architektury) (zał.5.15q).

Uczestniczyłam w pracach Zespołu Ekspertów Zewnętrznych do spraw Analiz Delphi Narodowego Programu Foresight Polska 2020. Koordynatorem programu była Polska Akademia Nauk (zał.5.1a).

Byłam trzykrotnie członkiem, w tym raz przewodniczącą, Komisji Konkursowej w Konkursie dla Wystawców Międzynarodowych Targów Ochrony Środowiska i Gospodarki Odpadami EKOTECH (zał.5.1n-2n,5n).

W 2018 roku brałam udział w ocenie dwóch wniosków projektów w dziedzinie gospodarka odpadami w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podlaskiego na lata 2014-2020 (zał.5.4a).

W latach 2015 – 2019 zrealizowałam 21 recenzji dla czasopism indeksowanych w JCR: Chemical Papers (1 recenzja), Journal of Hazardous Materials (1 recenzja), Environmental Technology (5 recenzji), Applied Sciences (1 recenzja), Water (3 recenzje), RSC Advances (1 recenzja), Sustainability (7 recenzji), Energies (2 recenzje) (zał.5.1p-8p).

Byłam również recenzentem prac dla czasopism krajowych: Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska (12 recenzji), Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury (1 recenzja), czasopism międzynarodowych: American Journal of Environmental Engineering and Science (1 recenzja), Plants (2 recenzje), Resources (2 recenzje), Royal Society Open Science (1 recenzja) (zał.5.9p-14p) oraz 5 prac zgłoszonych na konferencje zagraniczne i międzynarodowe (zał.5.16q-17q). Byłam członkiem komitetu naukowego trzech konferencji naukowych (zał.5.17q).

6.2. Działalność organizacyjna

Aktywnie uczestniczę w pracach na rzecz uczelni, czego potwierdzeniem są otrzymane trzy nagrody indywidualne oraz nagroda zespołowa J.M. Rektora Politechniki Świętokrzyskiej (zał.5.1d-4d). W 2017 roku zostałam wyróżniona przez Prezydenta Rzeczpospolitej Polskiej Brązowym Medalem za Długoletnią Służbę (zał.5.5d). Byłam członkiem: Zespołu Koordynującego Rozwój bazy specjalistycznej laboratoriów Politechniki Świętokrzyskiej (2007 – 2008 r.), Zespołu Opracowującego Raport Samooceny dla kierunku Inżynieria Środowiska na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska (2008 r., 2010 r.), Uczelnianego Kolegium Elektorów Politechniki Świętokrzyskiej (2012 r.), Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej (2007/2008 r., 2010/2011 r., 2014/2015 r.), Zespołu Wydziałowego ds. Systemu Zapewnienia Jakości Kształcenia (od 2016 r – aktualnie). W latach 2012-2014 reprezentowałam Politechnikę Świętokrzyską na spotkaniach w ramach współpracy Wschodniego Klastra Komunalnego. Od 2017 roku uczestniczę w realizacji projektu Centrum Naukowo - Wdrożeniowe Inteligentnych Specjalizacji Regionu Świętokrzyskiego (zał.5: 4q, 6q-9q,14q,18q-19q).

Latosińska

Literatura

1. Adam C., Kley G., Simon F.G.: Thermal treatment of municipal sewage sludge ammingatmarketable P-fertilisers. Materials Transactions 12 (2007), s.3056–3061
2. Bao W, Zou H., Gan S., Xu X., JI G., Zheng K.: Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by zeolite based on oil shale ash: kinetic and equilibrium studies. Chemical Research in Chinese Universities 29 (2013), s.126–131
3. Borowski G.: Możliwości wykorzystania odpadów z energetyki do budowy dróg. Inżynieria Ekologiczna 22 (2010), s. 52-62
4. Breck D.W.: Zeolite Molecular Sieves. Structure, Chemistry and Use. New York John Wiley and Sons 1974
5. Cyr M., Coutand M., Clasters P.: Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement – based materials. Cement and Concrete Research 37 (2007), s. 1278–1289
6. Deng L., Xu Q., Wu H.: Synthesis of zeolite-like material by hydrothermal and fusion methods using municipal solid waste fly ash. Procedia Environmental Sciences 31 (2016), s. 662–667
7. EPA Regulations on Land Disposal Restrictions, Appendix II – Toxicity Characteristic Leaching Procedure, 161:1877. The Bureau of National Affaris, Inc., Washington D.C. 20037 (1991)
8. Filipiak J.: Popiół lotny w budownictwie. Badania wytrzymałościowe gruntów stabilizowanych mieszanką popiołowo-cementową, Rocznik Ochrony Środowiska 13 (2011), s. 1043–1054
9. Franus W.: Zastosowanie zeolitów wytworzonych z popiołów lotnych do usuwania zanieczyszczeń z wody i ścieków. Lublin Polska Akademia Nauk Monografie 102. 2012
10. Garcés P., Pérez Carrión M., García-Alcocel E., Payá J., Monzó J., Borrachero M.V.: Mechanical and physical properties of cement blended with sewage sludge ash. Waste Management 28 (2008), s. 2495–2502
11. GUS, Bank Danych Lokalnych, 05.02.2019. https://bdl.stat.gov.pl
12. Je-Seung L., Sook-Nye C., Chul-Hwi P.: Synthesis of Zeolite P1 and Analcime from Sewage Sludge Incinerator Fly Ash. Journal of Korean Society of Environmental Engineers 30 (2008), s. 659–665
13. Kappel A., Ottosen L. M., Kirkelund G. M.: Colour, compressive strength and workability of mortars with an iron rich sewage sludge ash. Construction and Building Materials 157 (2017), s. 1199–1205
14. Lee H.K., Kim H.K., Hwang E.A. Utilization of power plant bottom ash as aggregates in fiber-reinforced cellular concrete, Waste Management 30:2 (2010), s. 274-284
15. Lee J.S., Eom S.W., Choi H.Y.: Synthesis of zeolite from sewage sludge incinerator fly ash by hydrothermal reaction in open system. Korean Journal of Environmental Health Sciences 33 (2007), s. 317–324
16. Lind B.B., Norrman J., Larsson L.B., Ohlsson S.-A., Bristav H.: Geochemicals anomalies from bottom ash in a road construction – Comparison of the leaching potential between an ash road and the surroundings. Waste Management 28 (2008), s. 170–180
17. Ling W., He S., Zhihui S., Enqing M.: New technology and application of brick making with coal fly ash, Journal of Material Cycles and Waste Management, 18:4 (2016), s.763–770
18. Moisês M.P., da Silva C.T., Meneguin J.G., GirottoE.M., Radovanovic E.: Synthesis of zeolite NaA from sugarcanebag asseash. Materials Letters 108 (2013), s.243–246
19. Molina A., Poole C.: A comparative study using two methods to produce zeolites from fly ash. Minerals Engineering 17 (2004), s. 167–173
20. Monzo J., Pay, J., Borrachero M.V., Girbés I.: Reuse of sewage sludge ashes (SSA) in cement mixtures: the effect of SSA on the workability of cement mortars. Waste Management 23 (2003), s. 373–381
21. Mozgawa W.: Spektroskopia oscylacyjna zeolitów. Kraków AGH 2007

22. Murayama N., Tanabe M., Yamamoto H., Shibata, J.: Reaction, mechanism and application of various zeolite syntheses from coal fly ash. Materials Transactions 44 (2003), s. 2475–2480.
23. Pan S.-C., Lin C.-C., Tseng D.-H.: Reusing sewage sludge ash as adsorbent for copper removal from wastewater. Resources, Conservation and Recycling 39 (2003), s. 79–90.
24. Pimraksa K., Chindaprasirt P., Setthaya N.: Synthesis of zeolite phases from combustion by-products. Waste Management and Resources 28 (2010), s. 1122–1132
25. pod red. Kirov G., Filizova L., Petrov O.: Natural Zeolites – SOFIA95. Minato H.: Standardization of methods for zeolite speciality determination and techniques for zeolite resources utilization, Sofia-Moscow, PENSOFT Publisher (1997), s. 282–292.
26. Querol X., Moreno N., Umaña J.C., Alastuey A., Hernández E., López-Soler A., Plana F.: Synthesis zeolites from coal fly ash: an overview. International Journal of Coal Geology 50 (2002), s.413–423
27. Rozporządzanie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, Dz.U. 2015 nr 0 poz. 1277
28. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu, Dz. U. poz. 108
29. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz.U. Nr 0, poz.1800
30. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia. Dz. U. Nr 204, poz 1728
31. Stempkowska A., Kępys W., Pietrzyk J.: Wpływ właściwości fizykochemicznych stałych pozostałości z termicznego przekształcania osadów ściekowych na możliwości ich wykorzystania w ceramice czerwonej. Gospodarka Surowcami Mineralnymi 31 (2015), s. 109–122
32. Suchecki T.T.: Zeolity z popiołów lotnych. Otrzymywanie i aplikacje w inżynierii środowiska. Wrocław Wydawnictwo Zakład Narodowy im. Ossolińskich 2005
33. Takahashi M., Kato S., Iwasaki S.: Technology for recovering phosphorus salt and zeolite from incinerated ash of sewage treatment sludge. Journal of Advanced Science 13 (2001) s. 163–166
34. Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022, M.P. 2016 nr 0 poz. 784
35. Wajima T., Haga M., Kuzawa K., Ishimoto H., Tamada O., Ito K., Nishiyama T., Downs R.T., Rakovan J.F.: Zeolite synthesis from paper sludge ash at low temperature (90oC) with addition of diatomite. Journal of Hazardous Materials B132 (2006), s. 244–252
36. Wang K.-S., Chiou I-J., Chen Ch-H., Wang D.: Lightweight properties and pore structure of foamed materialmade from sewage sludge ash. Construction and Building Materials 19 (2005), s. 627–633
37. Zabielska-Adamska K.: Produkt spalania komunalnych osadów ściekowych jako grunt antropogeniczny. Rocznik Ochrony Środowiska 17 (2015), s. 1286–1305
38. Zhang Y., Leng Z., Zou F., Wang L., Chen S.S., Tsang D.C.W.: Synthesis of zeolite A using sewage sludge ash for application in warm mix asphalt. Journal of Cleaner Production 172 (2018) s. 686–695

Latosińska