

Autoreferat

Spis treści:

Nr	Rozdział	Str.
1.	Imię i nazwisko habilitanta	2
2.	Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	2
3.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	2
4.	Wykaz osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy	3
5.	Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem możliwości ich wykorzystania	5
5.1.	Wprowadzenie	5
5.2.	Opis osiągnięcia naukowego i wkładu w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa	9
5.3.	Podsumowanie i dodatkowe informacje	24
5.4.	Dane naukometryczne	27
6.	Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.	28
7.	Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.	37
8.	Inne informacje, dotyczące kariery zawodowej. Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową albo artystyczną	40

1. Imię i Nazwisko:

Michał Łach

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

- W **2009** roku ukończyłem z wyróżnieniem studia magisterskie na kierunku Inżynieria Materiałowa, specjalność Materiały Konstrukcyjne, prowadzone na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Tytuł pracy magisterskiej to: „Opracowanie optymalnych warunków prowadzenia procesu izolacji faz węglkowych dla stali typu 15HM po długotrwałej eksploatacji.”
- Następnie kontynuowałem edukację na studiach III stopnia, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki, Wydział Mechaniczny, dziedzina: nauki techniczne, dyscyplina: inżynieria materiałowa. Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa został mi nadany uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego z dnia **16 grudnia 2015** roku. Rozprawa doktorska: „**Wpływ cząstek tufu na właściwości spiekanego kompozytu o osnowie miedzi na elektrody do zgrzewania oporowego**”. Promotor w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Janusz Mikoła, Prof. PK. Recenzenci w przewodzie doktorskim: Prof. dr hab. inż. Edmund Tasak; Prof. dr hab. inż. Jan Kazior
- Ponadto, w roku akademickim **2009/2010** ukończyłem **Studium Pedagogiczne dla Asystentów**, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki, Centrum Pedagogiki i Psychologii, (ukończone z wyróżnieniem).
- W roku **2007** ukończyłem Kurs Szkolenia Rezerw: KSR – Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych we Wrocławiu; Stopień: kapral podchorąży.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

- Od roku 2016 zatrudniony jestem na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego (naukowo-badawczego).
- W latach 2011 – 2016 zatrudniony byłem w Instytucie Inżynierii Materiałowej na Wydziale Mechanicznym, Politechniki Krakowskiej im Tadeusza Kościuszki na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego.
- Od 2015 pełnię funkcję kierownika w utworzonym w Instytucie Inżynierii Materiałowej, Laboratorium Polimerów Nieorganicznych (nie funkcjonuje jako oddzielna jednostka).

4. Wykaz osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Osiągnięciem naukowym, które stanowi przedmiot starania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego, jest cykl publikacji i przyznanych patentów, które powstały w latach 2015-2021 powiązanych tematycznie pod zbiorczym tytułem „Wykorzystanie materiałów glinokrzemianowych o różnym pochodzeniu, do wytwarzania kompozytów geopolimerowych i zeolitów.” W skład tego zestawu wchodzi 10 publikacji, oznaczonych odpowiednio [A1-A10] a także 5 patentów przyznanych przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej oznaczone odpowiednio [A11-A15], przedstawionych w tabeli poniżej:

L.p.	Cykl publikacji powiązanych tematycznie: „ Wykorzystanie materiałów glinokrzemianowych o różnym pochodzeniu, do wytwarzania kompozytów geopolimerowych i zeolitów ”	Inf. Dodatkowe: Liczba pkt. wg listy MNiSW, IF Impact Factor, Indeksowanie w bazach danych (dot. Konferencji)
A1	Michał Łach ; Geopolymer foams - will they ever become a viable alternative to popular insulation materials? - A critical opinion // <i>Materials</i> – 2021, Vol. 14, Iss. 13, Spec. Iss., s. [1-15] (Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu wszystkich działań: przegląd i analiza literatury, główne przygotowanie i korekta manuskryptu). Mój udział procentowy wynosi 100 %	MNiSW: 140 (nowa lista 2019) IF: 3,623 Liczba cytowań: 11 (wg. Scopus)
A2	Michał Łach , Kinga Korniejenko, Janusz Walter, Anna Stefańska, Janusz Mikuła; <i>Decreasing of leaching and improvement of geopolymer properties by addition of aluminum calcium cements and titanium oxide</i> - <i>Materials</i> 2020, Vol. 13 (3), 495, s. 1-9 (Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: dobór parametrów syntezy geopolimerów i wprowadzanych dodatków, wykonanie próbek do badań, przeprowadzenie badań wytrzymałości na ściskanie – rys. 9. wykonanie badań wizualnych pojawiających się wykwitów (rys. 7 i 8), interpretacja badań wymywania alkaliów, główny udział w opracowaniu wyników badań, główne przygotowanie i korekta manuskryptu). Mój udział procentowy wynosi 55%	MNiSW: 140 (nowa lista 2019) IF: 3,623 Liczba cytowań: 4 (wg. Scopus)
A3	Michał Łach , Agnieszka Grela, Norbert Komar, Janusz Mikuła, Marek Hebda; <i>Calcined post-production waste as materials suitable for the hydrothermal synthesis of zeolites</i> ; <i>Materials</i> – 2019, Vol. 12, Iss. 17, s. 1-16 (Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: zaplanowanie badań, obróbka surowców termomechaniczna (wszystkich), wykonanie próbek (przygotowanie próbek do badań), dobór/określenie parametrów syntezy, przeprowadzenie wybranych syntez zeolitów (próbki S1) oraz udział w badaniach właściwości otrzymanych produktów (SEM/EDS rys. 5 i 6, interpretacja pozostałych wyników (wymywalność, XRD), częściowy udział w badaniach TG), częściowe wykonanie przeglądu literaturowego, korekta manuskryptu). Mój udział procentowy wynosi 55%	MNiSW: 140 (nowa lista 2019) IF: 3,623 Liczba cytowań: 3 (wg. Scopus)
A4	Michał Łach , Kinga Pławecka, Agnieszka Bąk, Katarzyna Lichočka, Kinga Korniejenko, An Cheng, Wei-Ting Lin; <i>Determination of the influence of hydraulic additives on the foaming process and stability of the produced geopolymer foams</i> / <i>Materials</i> – 2021, Vol. 14, Iss. 17, 14 s. (Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu całości badań, określenie parametrów wytwarzania (tabela 3 i 4), wykonaniu badań współczynnika przewodzenia ciepła (tabela 5), analizie wyników badań, częściowe przygotowanie manuskryptu i częściowe korekty) Mój udział procentowy wynosi 50%	MNiSW: 140 (nowa lista 2019) IF: 3,623 Liczba cytowań: 1 (wg. Scopus)
A5	Michał Łach , Maria Hebdowska-Krupa, Anna Stefańska, Justyna Stefanek, Artur Stanek, Janusz Mikuła, Marek Hebda; <i>Characterization of post-production raw material from the Raciszyn II deposit as a material suitable</i>	MNiSW: 70 (nowa lista 2019) IF: 4,626 Liczba cytowań: 10

	<i>for the production of alkaline-activated materials</i> ; Journal of Thermal Analysis and Calorimetry – 2019, Vol. 138, Iss. 6, s. 4551-4559 (<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: zaplanowanie badań, dobór – ustalenie optymalnych parametrów wytwarzania, obróbka termomechaniczna glinki raczyńskiej, wykonanie próbek do badań, interpretacja wyników TG i XRD (rys. 3-7), przeprowadzenie badań wytrzymałościowych (tabela 4), sformułowanie wniosków i podsumowania, główne przygotowanie oraz częściowa korekta manuskryptu</i>). Mój udział procentowy wynosi 60%	(wg. Scopus)
A6	Michał Łach , Dariusz Mierzwiński, Kinga Korniejenko, Janusz Mikuła, Marek Hebda; <i>Geopolymers as a material suitable for immobilization of fly ash from municipal waste incineration plants</i> ; Journal of the Air & Waste Management Association – 2018, Vol. 68, Iss. 11, s. 1190-1197 (<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: zaplanowanie całości badań, dobór optymalnych warunków geopolimeryzacji, wykonanie próbek geopolimerów wraz z odpadami, badania właściwości fizycznych odpadów, badania wytrzymałości na ściskanie (tabela 6), badania SEM (rys. 2), wykonanie przeglądu literaturowego, główne opracowanie wyników badań związanych z wymywalnością geopolimerów, główna redakcja tekstu i korekta manuskryptu</i>). Mój udział procentowy wynosi 60%	MNiSW: 25 (lista 2013-2016) IF:2,235 Liczba cytowań: 18 (wg. Scopus)
A7	Agnieszka Grela, Marek Hebda, Michał Łach , Janusz Mikuła; <i>Thermal behaviour and physical characteristics of synthetic zeolite from CFB-coal fly ash</i> / Microporous and Mesoporous Materials– 2016, Vol. 220, s. 155–162 (<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: zaplanowanie badań, wykonanie przeglądu literaturowego, współudział w realizacji badań (syntezy zeolitów – metoda niskotemperaturowa), przeprowadzenie badań SEM i ich interpretacja (rys. 2 i 3)</i>). Mój udział procentowy wynosi 35%	MNiSW: 35 (lista 2013-2016) IF: 5,455 Liczba cytowań: 29 (wg. Scopus)
A8	Agnieszka Grela, Michał Łach , Tomasz Bajda, Janusz Mikuła, Marek Hebda; <i>Characterization of the products obtained from alkaline conversion of tuff and metakaolin</i> / Journal of Thermal Analysis and Calorimetry – 2018, Vol. 133, Iss. 1, s. 217-226 (<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: udział w zaplanowaniu badań, wykonanie przeglądu literaturowego, współudział w realizacji badań (syntezy zeolitów- metody niskotemperaturowe), przeprowadzenie badań SEM i ich interpretacja (rys. 6), redakcja tekstu, opracowanie i analiza wyników badań; formułowanie wniosków, korekta manuskryptu</i>). Mój udział procentowy wynosi 40%	MNiSW: 25 (lista 2013-2016) IF: 4,626 Liczba cytowań: 12 (wg. Scopus)
A9	Michał Łach , Kinga, Korniejenko, Janusz Mikuła; <i>Thermal insulation and thermally resistant materials made of geopolymer foams</i> / Procedia Engineering – 2016, Vol. 151, s. 410-416 (<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: zaplanowanie badań, dobór parametrów syntezy i spieniania, wykonanie próbek do badań oraz przeprowadzenie badań właściwości mechanicznych i izolacyjnych, wykonanie spienionych geopolimerów, wykonanie przeglądu literaturowego, interpretacja wyników badań, główna edycja tekstu i korekta manuskryptu</i>). Mój udział procentowy wynosi 65%	Publikacja indeksowana w bazach Scopus i Web of Science SNIP: 1.437 Liczba cytowań: 60 (wg. Scopus)
A10	M. Łach , K. Korniejenko, N. Komar, J. Mikuła; <i>A study on the physicochemical properties of different post-process wastes from thermal processes</i> ; IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2019, Vol. 660, 012006, 1-7 s. (<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu: zaplanowanie badań, przygotowanie próbek do badań, obróbka odpadów, wykonanie przeglądu literaturowego, wykonanie badań SEM (Rys. 1-4), interpretacja wyników badań promieniotwórczości i zawartości dioksyn, główna edycja tekstu i korekta manuskryptu</i>). Mój udział procentowy wynosi 65%	Publikacja indeksowana w bazie Scopus; SNIP 0.484 Liczba cytowań: 0 (wg. Scopus)
	Patenty i zgłoszenia patentowe	
A11	Michał Łach , Janusz Mikuła, 2016, nr PL 226104 „Tworzywo geopolimerowe oraz sposób wytwarzania tworzywa geopolimerowego”, zakres terytorialny Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej Data zgłoszenia: 2012-11-12	Urząd Patentowy RP, Przyznany patent

	Data przyznania: 2017-06-30 Wkład twórczy określony na podstawie zgłoszenia: 50%	
A12	Michał Łach , Agnieszka Grela, Janusz Mikuła; Patent nr PL232899 . „Sposób wytwarzania zeolitów na bazie filipowickiego tufu wulkanicznego” Data zgłoszenia: 2015-03-16 Data przyznania: 2019-08-30 Wkład twórczy określony na podstawie zgłoszenia: 33%	Urząd Patentowy RP, Przyznany patent
A13	Michał Łach , Janusz Mikuła, Anna Mokrzycka-Nowak; Patent PL 235346 ; „Sposób przetwarzania odpadów wtórnych ze spalarni” Data zgłoszenia: 2016-10-21 Data przyznania: 2020-07-02 Wkład twórczy określony na podstawie zgłoszenia: 25%	Urząd Patentowy RP, Przyznany patent
A14	Michał Łach , Janusz Mikuła, Anna Mokrzycka-Nowak; Patent nr PL 234900 ; „Układ do przetwarzania odpadów wtórnych ze spalarni”. Data zgłoszenia: 2016-10-31 Data przyznania: 2020-04-30 Wkład twórczy określony na podstawie zgłoszenia: 25%	Urząd Patentowy RP, Przyznany patent
A15	Michał Łach , Agnieszka Grela, Janusz Mikuła, Tomasz Bajda, Dariusz Mierzwiński, Norbert Komar; „Sposób syntezy zeolitów z popiołów powstałych ze spalania i współspalania biomasy”; PL420936 Data zgłoszenia: 2017-03-21 Data przyznania: 2021-09-06 Wkład twórczy określony na podstawie zgłoszenia: 20%	Urząd Patentowy RP, Przyznany patent

Zestawienie liczby punktów i IF artykułów wchodzących w skład osiągnięcia:

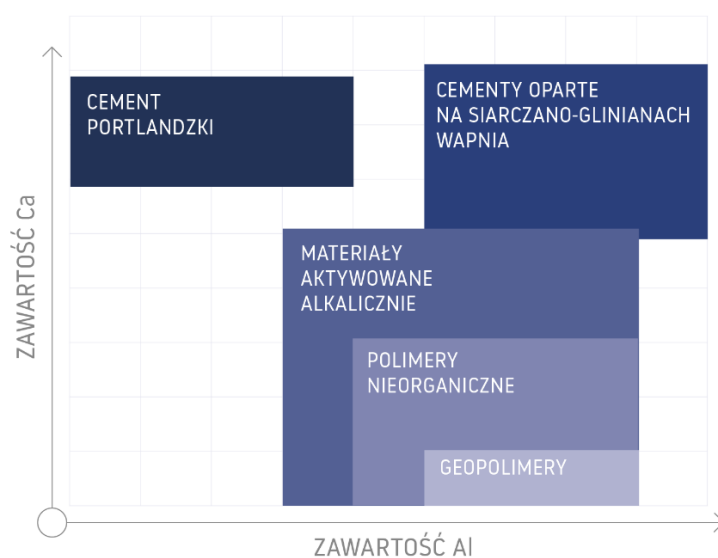
Baza	Punkty MNiSW	IF sumaryczny
Liczba punktów MNiSW do 2019	84	31,434
Liczba punktów MNiSW po 2019	630	

5. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem możliwości ich wykorzystania

5.1. Wprowadzenie

Geopolimery są materiałami zaliczanymi do aktywowanych alkalicznie materiałów i polimerów nieorganicznych. Posiadają one szereg unikalnych cech pozwalających na ich szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Pomimo częstego porównywania geopolimerów do materiałów na bazie cementu portlandzkiego, różnią się one znacznie, zarówno jeżeli chodzi o sposób wiązania jak też strukturę i właściwości. Znajdują one wprawdzie szereg zastosowań w budownictwie, jednak mogą być wykorzystywane w wielu innych zastosowaniach, np. jako osnowa różnego rodzaju zaawansowanych kompozytów.

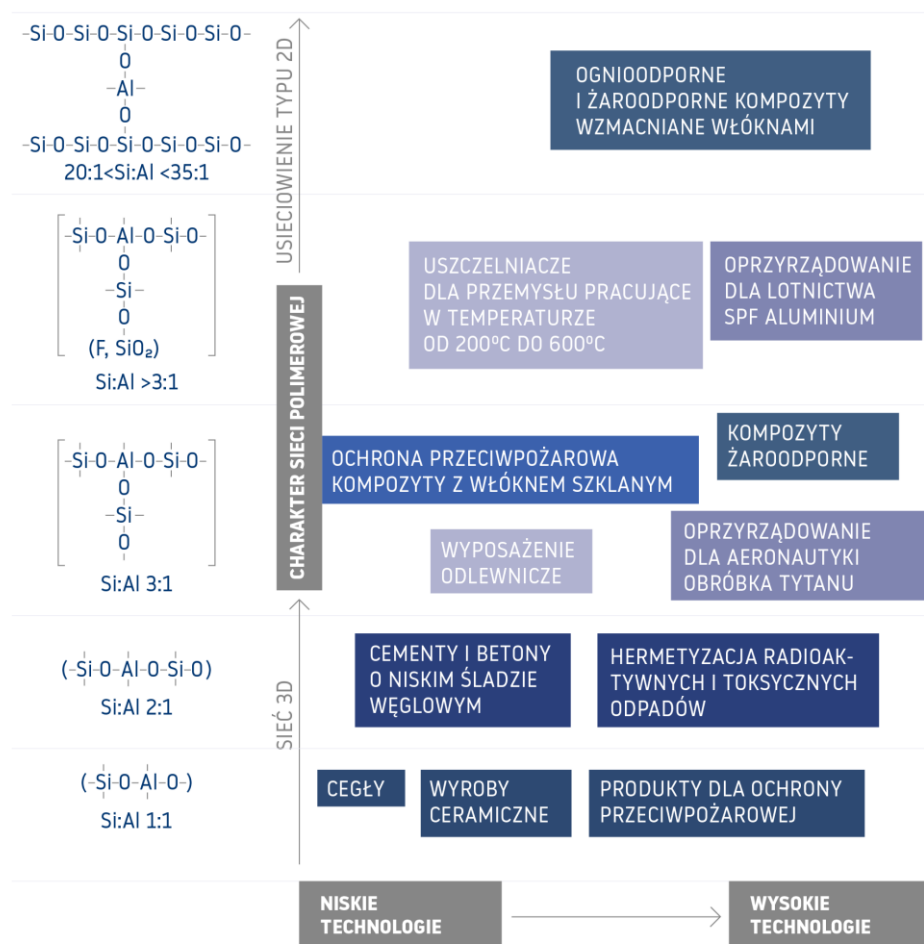
Porównanie materiałów geopolimerowych z innymi spoiwami w zależności od zawartości pierwiastków Ca i Al przedstawiono poniżej na rysunku 1.



11

Rys. 1. Porównanie geopolimerów z innymi spoiwami (zaw. % at.) (na podstawie Provis, J.L.; Van Deventer, J.S.J. Alkali Activated Materials; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2014.).

Materiały geopolimerowe są szczególnie atrakcyjne ze względu na możliwość sterowania właściwościami i zastosowaniem w zależności od struktury geopolimeru. Przykłady możliwości ich zastosowania przedstawiono poniżej na rysunku 2. Sterując odpowiednio syntezą geopolimerów i zmianą ich struktury w zależności od stosunków Si:Al możliwe jest wytwarzanie geopolimerów o odmiennych właściwościach i możliwościach ich wykorzystania. W praktyce jednak ze względu na mnogość różnych surowców wykorzystywanych do produkcji geopolimerów, naukowcy na całym świecie zmagają się z trudnościami związanymi z powtarzalnością wyników i uzyskiwaniem takich samych parametrów z różnych glinokrzemianów. To co możliwe jest do uzyskania np. dla popiołów lotnych czy żużli wielkopieczowych, nie zawsze można osiągnąć dla np. popiołów ze spalarni odpadów i to pomimo prawidłowego teoretycznego wyliczenia stosunków molowych i odpowiedniego doboru roztworów aktywujących. Dzieje się tak dlatego, że nie wykorzystuje się żadnej uniwersalnej metodyki pozwalającej na wykorzystanie różnych grup surowców. Skutkuje to również niewielkim jak dotychczas poziomem wdrożeń tej technologii w przemyśle pomimo jej znajomości już od kilkudziesięciu lat.



14

Rys. 2. Zastosowanie geopolimerów w zależności od ich struktury (sieci polimerowej) (na podstawie: J. Davidovits - Geopolymer 2002 Conference, October 28-29, 2002, Melbourne, Australia).

Unikalne właściwości geopolimerów są przyczyną wzrostu zainteresowania tymi materiałami biorąc pod uwagę coraz to nowe potrzeby wynikające z rozwoju cywilizacyjnego. Co roku powstają nowe rozwiązania i patenty dotyczące geopolimerów i kompozytów geopolimerowych. Niemniej jednak wiele informacji dotyczących technologii wytwarzania geopolimerów pozostaje ciągle tajemnicą. Publikacje naukowe podają jedynie receptury czy proporcje składników aktywujących w odniesieniu do konkretnego surowca, którym zazwyczaj jest popiół lotny pochodzący ze ściśle określonej instalacji spalania węgla (lub innych materiałów). Powtarzalność otrzymanych wyników może mieć miejsce jedynie w przypadku stosowania tego samego surowca pochodzącego z możliwie bliskiego okresu – różnica w składzie i morfologii popiołu zmienia się w instalacjach oczyszczania spalin niemal codziennie. Z kolei w patentach autorzy zastrzegają rozwiązania w których stosuje się popioły

o składach chemicznych w określonym zakresie oraz dodatki aktywujące również w określonych zakresach.

Przetwarzanie materiałów odpadowych jest znacznie trudniejszym zagadnieniem niż wykorzystywanie konwencjonalnych spoiw. Wymagane jest tutaj zastosowanie wielokryterialnej metodyki określania właściwości surowców. Korzyści z zastosowania (wdrożenia) geopolimerów w przemyśle mogą być ogromne ze względu na ograniczenie emisji CO₂, wykorzystanie surowców odpadowych oraz ich dużą trwałość i odporność na różnego rodzaju środowiska korozyjne. Należy więc dążyć do tego, aby usystematyzować metodykę badań tych znanych, lecz ciągle uważanych za nowe materiałów i aby wdrażać je w różnych gałęziach gospodarki wykorzystując różnego rodzaju występujące lokalnie surowce poprocesowe.

W wyniku alkalicznej aktywacji dokonuje się również synteza materiałów zeolitowych. Struktura geopolimerów i zeolitów jest zbliżona a często geopolimery zawierają w sobie znaczną ilość zeolitów. Surowce wykorzystywane do wytwarzania geopolimerów są również wykorzystywane przy syntezie zeolitów. Zeolity to krystaliczne, uwodnione glinokrzemiany metali ziem alkalicznych. Dzielą się one na: naturalne, powstałe na drodze wietrzenia skał pochodzenia wulkanicznego, których grupa obejmuje obecnie około 40 przedstawicieli oraz syntetyczne, stanowiące analogię strukturalną zeolitów naturalnych. Zainteresowanie zeolitami syntetycznymi wzrasta w miarę odkrywania coraz nowszych możliwości aplikacji tych minerałów w różnych dziedzinach przemysłu. Zaawansowane metody syntez pozwalają na wyprodukowanie materiału zeolitowego o ściśle określonych parametrach dostosowanych do różnych aplikacji. Współcześnie jako substraty w procesie syntez zeolitów wykorzystywane są minerały ilaste i krzemionka. Atrakcyjny surowiec stanowią również popioły lotne i inne odpady poprocesowe ze względu na ich podobieństwo do zeolitów pod względem składu chemicznego. Proces zeolityzacji skutkuje zmianą struktury wewnętrznej oraz składu mineralogicznego substratu reakcji. W konsekwencji mamy do czynienia z materiałem o odmiennych własnościach fizycznych i chemicznych w stosunku do materiału wyjściowego. Skład chemiczny oraz struktura produktów syntezy jest funkcją składu chemicznego surowca, temperatury, czasu, stężenia alkaliów w roztworze. Nawet niewielka modyfikacja warunków procesu powoduje powstanie zupełnie odmiennych faz zeolitowych. Metody doboru parametrów syntezy w zależności od właściwości surowca jest tutaj kluczowym elementem umożliwiającym osiągnięcie zeolitów syntetycznych o wysokich parametrach sorpcyjności i jonowymienności.

5.2. Opis osiągnięcia naukowego i wkładu w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa

Do opisu osiągnięcia naukowego pt. "Wykorzystanie materiałów glinokrzemianowych o różnym pochodzeniu, do wytwarzania kompozytów geopolimerowych i zeolitów" będącego przedmiotem postępowania habilitacyjnego wybrałem 10 publikacji powiązanych tematycznie [A1-A10], a także 5 patentów [A11-A15] przyznanych na terytorium RP. Wskazane osiągnięcia dotyczą jednego nurtu spójnego tematycznie, tj. wykorzystania materiałów glinokrzemianowych o różnym pochodzeniu do wytwarzania kompozytów geopolimerowych i zeolitów. Dobór powyższych osiągnięć ma na celu wykazanie aspektów naukowych związanych z mikrostrukturą, właściwościami i wytwarzaniem wspomnianych materiałów kompozytowych, ale jednocześnie podkreśla użyteczny charakter badań i uzyskanych rezultatów. Ma to szczególne znaczenie, gdyż surowiec jakim są glinokrzemiany wykorzystywane w badaniach jest odpadem po procesowym, którego przetworzenie na geopolimery umożliwia wykorzystanie go do wytworzenia nowoczesnego materiału o szczególnych właściwościach. Rozwiązuje to jednocześnie problem utylizacji lub składowania takich odpadów. Prace naukowe opublikowano w latach 2016-2021 (po uzyskaniu stopnia doktora) w punktowanych, indeksowanych i renomowanych naukowo czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Uznanie w środowisku naukowym przejawia się licznym ich cytowaniem. Wykazane publikacje zostały uszeregowane w zależności od wpływu jakie miały one na całość osiągnięcia, pozycji w rankingu czasopism a także w pewnym stopniu od mojego udziału w ich powstaniu. Zaprezentowane zestawienie artykułów pokazuje powiązania pomiędzy określaniem podstawowych cech glinokrzemianów odpadowych i ich obróbki, syntezy i badania nowych materiałów otrzymanych z tych surowców.

Cechą wspólną wszystkich przedstawionych do oceny publikacji jest to, że przeprowadzone badania realizowane były w oparciu o stworzoną innowacyjną metodykę projektowania składów chemicznych kompozytów geopolimerowych i zeolitów, która to metodyka była rozwijana w wyniku kolejnych badań naukowych. Wszystkie przeprowadzone badania zmierzały do osiągnięcia innowacyjnych materiałów o lepszych parametrach niż znane dotychczas i wykorzystaniu niestosowanych powszechnie do tego celu surowców odpadowych.

Badania przedstawione w cyklu publikacyjnym ukierunkowane są na równorzędne realizowanie celów poznawczych, technologicznych i aplikacyjnych w obszarze technologii materiałów glinokrzemianowych aktywowanych alkalicznie.

Celem naukowym przedstawionego cyklu publikacji z zakresu wykorzystania materiałów glinokrzemianowych o różnym pochodzeniu, do wytwarzania kompozytów geopolimerowych i zeolitów, było rozpoznanie i analiza zjawisk zachodzących w trakcie przetwarzania i syntezy materiałów oraz określenie zależności pomiędzy właściwościami surowców a wybranymi parametrami obróbki, jak również określenie ich wpływu na właściwości otrzymanych materiałów. Pozwoliło to na opracowanie metodyki doboru parametrów procesu syntezy w zależności od rodzaju (źródła) surowców oraz dobór parametrów obróbki takich surowców, tak aby uzyskać optymalne parametry produktu końcowego. Warunki procesów obróbki i zjawiska zachodzące w jej trakcie wpływają na właściwości uzyskiwanych w procesach syntezy materiałów, dlatego też ogromną wagę w swojej pracy naukowej przywiązuję do charakterystyki materiałów oraz poznania zjawisk zachodzących w trakcie wszystkich procesów ich przetwarzania.

Istotny, autorski wkład do nauki przedstawionego osiągnięcia w obszarze dyscypliny inżynieria materiałowa stanowią zagadnienia dotyczące charakteryzowania składu i struktury surowców glinokrzemianowych w celu odpowiedniego dobrania parametrów syntezy geopolimerów i zeolitów oraz badania właściwości nowo wytworzonych materiałów. Realizowane od kilkunastu lat badania doprowadziły do rozwiązania problemu braku uniwersalnej metodyki badań, która pozwoliłaby na wytwarzanie geopolimerów z różnych surowców. Efektem badań jest więc również możliwość prognozowania właściwości geopolimerów wytwarzanych na bazie glinokrzemianów różnorodnego pochodzenia. Na podstawie tej wiedzy realizowano dalsze badania, których wyniki przyczyniły się do rozwoju tej metodyki i pozwoliły na uzyskiwanie coraz lepszych parametrów opracowywanych kompozytów geopolimerowych. Zdobyta wiedza pozwoliła również na wdrożenie tej technologii oraz opracowanie kilku wynalazków objętych obecnie ochroną patentową.

W stworzonym przeze mnie rozwiązaniu dzięki specjalnym obróbkom surowców i sposobom ich doboru a przede wszystkim dzięki możliwości dostosowania receptury aktywatorów alkalicznych możliwe jest wytwarzanie geopolimerów z niemalże wszystkich instalacji generujących materiały odpadowe lub surowce antropogeniczne. Dzięki osiągnięciom w tym zakresie możliwe jest obecnie wytwarzanie geopolimerów o różnych

właściwościach również z popiołów ze spalania węgla kamiennego w kotłach fluidalnych jak też z popiołów pochodzących ze spalania węgla brunatnego. Receptury dla danego typu popiołu są ustalane indywidualnie na podstawie własności jakimi charakteryzuje się popiół. Dobór receptury przeprowadzany jest zarówno poprzez optymalizację komputerową stosunków molowych jak również doświadczalnie. Innowacyjna metodyka projektowania składu mieszaniny betonów geopolimerowych, optymalizacji stosunków molowych i prognozowania wytrzymałości takich betonów została objęta ochroną jako poufne know-how (Michał Łach, Janusz Mikuła, 2015 r.). Stąd też ten zakres wiedzy nie został opublikowany.

W metodyce brane są pod uwagę stosunki molowe zarówno alkalicznego roztworu aktywującego jak również stosunki molowe w samych surowcach. Analizie podlegają między innymi stosunki: $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$; $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$. Na podstawie wielowariantowych badań i analiz teoretycznych wyznaczono zalecane przedziały stosunków molowych (w przypadku popiołów lotnych): $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ zalecane 3,4 do 4,7; $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ zalecane 0,075 do 0,18; $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ zalecane 8 do 11. Na uwagę zasługuje tutaj pewien szczegół, który nie jest brany pod uwagę przez większość autorów publikujących prace naukowe w zakresie syntezy zeolitów czy geopolimerów a mianowicie zawartość w surowcach reaktywnej krzemionki. Autorzy badań opisują zależności modułów krzemowych bez uwzględnienia faktu, że nie całkowita zawartość krzemionki bierze udział w reakcji a jedynie pewna ilość krzemionki reaktywnej. Ilość reaktywnej krzemionki wyznacza się zgodnie z normami: PN-EN 196-2:2013-11; PN-EN 197-1:2012. Pomijanie tego faktu wiąże się z osiągnięciem nieprawidłowych stosunków molowych, które wyznaczane są jedynie teoretycznie. W stworzonym przeze mnie rozwiązaniu i metodyce brane są pod uwagę zarówno ilości całkowite SiO_2 jak również ilość krzemionki reaktywnej. Istotne jest również to, aby badać dla każdego typu surowca kinetykę roztwarzania SiO_2 ponieważ istnieją materiały o spowolnionym roztwarzaniu krzemionki trwającym często kilkadziesiąt godzin co w przypadku syntezy geopolimerów trwającej kilka godzin prowadzi do niecałkowitego roztworzenia.

Opisane powyżej osiągnięcie przyczyniło się do powstania szeregu artykułów naukowych nie wchodzących w skład przedmiotowego cyklu publikacji (wymienione w załączniku: Wykaz osiągnięć).

Ponadto, stworzenie uniwersalnej metodyki projektowania składu geopolimerów przyczyniło się również do opracowania na zlecenie grupy TAURON „klasyfikacji geopolimerów i skorelowanej z nią klasyfikacji popiołów lotnych wytwarzanych w obiektach Grupy Tauron

(obejmującą zarówno popioły ze spalania węgla kamiennego z kotłów pyłowych jak i fluidalnych) wraz z opracowaniem receptur wytwarzania geopolimerów z pyłów z kotłów fluidalnych”.

Wyznaczenie zależności pomiędzy wybranymi stosunkami molowymi i stężeniami a wytrzymałością geopolimerów doprowadziło również do stworzenia metodyki prognozowania wytrzymałości kompozytów geopolimerowych. Możliwe jest wyznaczenie teoretycznej wytrzymałości geopolimerów na podstawie co najmniej sześciu wskaźników:

- stosunek molowy $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$
- stosunek molowy $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$,
- stężenie molowe roztworu NaOH,
- stosunek wagowy szkło wodne/roztwór NaOH,
- stosunek wagowy w/s (w – woda, s – części stałe),
- strata prażenia popiołu.

Metodyka optymalizacji stosunków molowych służy również do określania optymalnych stosunków dla syntezy zeolitów i była wykorzystywana między innymi w opracowaniu wynalazków: [A12] i [A15].

Dzięki poznanym zależnościom i wpływom składu chemicznego surowców, składu roztworów aktywujących, morfologii i uziarnienia materiałów na właściwości gotowych wyrobów, możliwe było opracowanie składu kompozytów między innymi na bazie gliniek wapniowych. Rozwiązanie (zgłoszone do ochrony patentowej) uzyskano dzięki połączeniu dwóch rodzajów aktywatorów – sodowych i potasowych. Bez wyznaczenia algorytmów zależności poszczególnych składników nie byłoby możliwe stworzenie receptur dla przetwarzania glinokrzemianów wapniowych przy wykorzystaniu hybrydowych aktywatorów sodowych i potasowych. Udało się jednak zaprojektować na bazie wspomnianych gliniek materiały mogące stanowić konstrukcyjne materiały do zastosowań w wysokich temperaturach. Wytworzone materiały aktywowane alkalicznie na bazie aktywatorów sodowych i sodowo-potasowych po wygrzewaniu w temp. 1100 °C charakteryzują się dobrymi wartościami wytrzymałości na zginanie i dobrą ognioodpornością. Mogą one stanowić alternatywę dla innych materiałów ogniotrwałych. Badania wytrzymałości na zginanie w temperaturach 800 °C wykazały, że materiały wytworzone z glinki wapniowej aktywowanej 100% aktywatorem sodowym posiadają wytrzymałość na zginanie wynoszącą 3,8 MPa (w temp. otoczenia wytrzymałość ta jest równa 6,2 MPa). Dla tego samego materiału w przypadku zastosowania aktywatora

sodowego (90%) i potasowego (10%) wytrzymałość na zginanie w temperaturze 800 °C wynosi 2,7 MPa (w temp. otoczenia wytrzymałość ta jest równa 6,2 MPa). Zastosowanie różnego rodzaju aktywatorów pozwoliło na stwierdzenie istotnych różnic, jeżeli chodzi o zmianę wymiarów (skurcz) wskutek ogrzewania. W przypadku zastosowania wyłącznie aktywatora sodowego zaobserwowano przyrost na poziomie 0,473 %, natomiast przy użyciu aktywatorów 90% sodowego i 10% potasowego, zaobserwowano skurcz na poziomie 1,65%.

Badaniom poddawano również inne surowce dotychczas nie charakteryzowane pod kątem syntezy geopolimerów takie jak łupki węglowe i popioły z kotłów fluidalnych (również ze spalania i współspalania biomasy) a także specyficzne rodzaje odpadów ze spalarni. Szereg przeprowadzonych badań pozwolił na wyznaczenie pewnych zależności ułatwiających projektowanie kompozytów na bazie materiałów odpadowych. Jedną z relacji, która miała znaczący wpływ na powstanie całego osiągnięcia była zależność pomiędzy ilością niespalonego węgla w popiołach lotnych i innych surowcach np. mułkach węglowych a wytrzymałością końcową kompozytów geopolimerowych. Zależność ta możliwa była do wyznaczenia dzięki zastosowaniu kompleksowych metod badawczych do oceny właściwości surowców w tym między innymi sprzężonych metod analizy termicznej i wyznaczania miąższości surowców jak również poprzez ocenę mikrostruktury. Udowodniono, że ilość niespalonego węgla do 1,5% może mieć pozytywny wpływ na wytrzymałość geopolimerów, ilości pomiędzy ok. 1,5 do 5% są neutralne a wartości powyżej 5% powodują spadek właściwości wytrzymałościowych, wzrost nasiąkliwości i spadek mrozoodporności (*Effect of unburned carbon on the mechanical properties fly-ash based geopolymers* / Janusz Mikuła, Kinga Korniejenko, **Michał Łach**).

Inną zależnością poznaną dzięki zrealizowanym badaniom była zależność ilości fazy kaolinu na strukturę i właściwości materiałów aktywowanych alkalicznie.

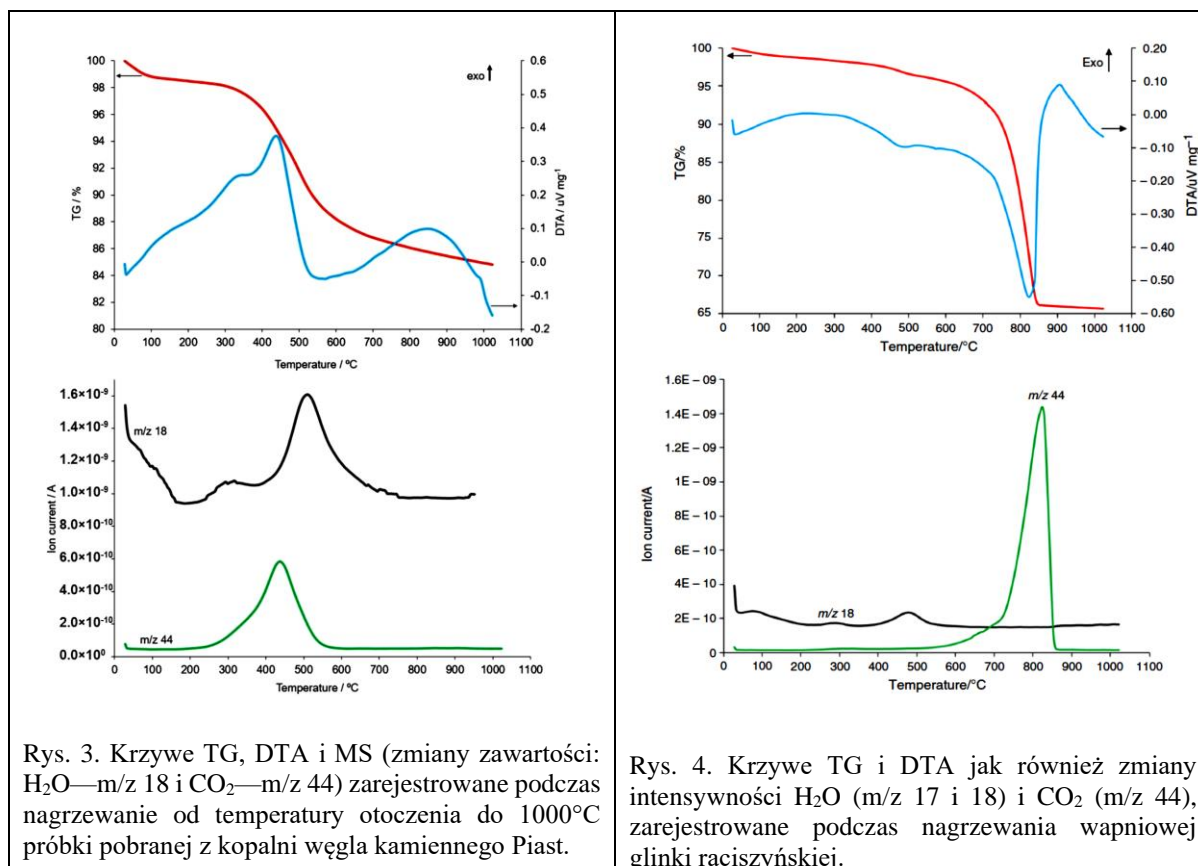
W artykułach [A3, A5, A10] dokonano charakterystyki właściwości surowców glinokrzemianowych zarówno z procesów termicznych jak też odpadów z wydobycia wapieni. Artykuły te stanowią wkład w rozwój inżynierii materiałowej ze względu na fakt, że dotychczas w literaturze przedmiotu nie przedstawiono wyników badań tak specyficznych rodzajów surowców odpadowych pod względem ich wykorzystania i przekształcenia poprzez alkaliczną aktywację. W artykułach przedstawiono wyniki badań takich materiałów jak:

- glina racisyńska ze złoża Raciszyn II będąca materiałem odpadowym nie znajdującym dotychczas gospodarczego wykorzystania i nie badana wcześniej pod kątem wykorzystania jej jako źródła surowców,
- odpady z górnictwa węglowego (między innymi kopalnia Piast i Ruch Rydułtowy),
- materiały ze spalarni odpadów z Kłajpedy na Litwie,
- materiały z elektrociepłowni w Jedliczu (nie charakteryzowane w literaturze nigdy wcześniej),
- dwa rodzaje odpadów ze spalarni w Katowicach.

W artykułach wskazano możliwości ich wykorzystania i przekształcenia na produkty użyteczne. Artykuły te wytypowano do cyklu wchodzącego w skład osiągnięcia naukowego, ponieważ pokazują, że do wytwarzania innowacyjnych materiałów mogą zostać użyte różnorodne materiały (różnego pochodzenia i różniące się składem chemicznym) a dzięki innowacyjnej metodzie projektowania składu geopolimerów możliwe jest ich skuteczne przetworzenie. Badania udowodniły między innymi, że w wyniku konwersji łupków węglowych możliwe jest uzyskiwanie zeolitów o powierzchni BET dochodzącej do 200 m²/g. Aby jednak to było możliwe, konieczna jest dokładna charakterystyka polegająca na analizie termicznej, analizie morfologii i analizie właściwości chemicznych (fizyko-chemicznych).

Analizy TG i DTA pozwoliły na określenie optymalnych temperatur procesów kalcynacji dla gliny racisyńskiej i łupków węglowych. W artykułach szczegółowo opisano efekty badań i zwrócono uwagę, że ze względów środowiskowych wybór temperatury kalcynacji ma duże znaczenie, ponieważ zbyt wysoka temperatura może doprowadzić do rozkładu węglanów wapnia i emisji dużych ilości CO₂ a także zmian strukturalnych i teksturalnych. Z kolei zbyt niska temperatura nie doprowadzi do całkowitego przeobrażenia frakcji kaolinowych w metakaolin i efektywność syntezy zeolitów czy geopolimerów będzie mniejsza. Dzięki przeprowadzonym badaniom udowodniono również, że odpowiednia charakterystyka materiałów glinokrzemianowych przy wykorzystaniu między innymi metod analizy termicznej pozwala na dobór parametrów syntezy hydrotermalnej zeolitów bez konieczności stosowania metod stapiania czy obróbki ultradźwiękowej (jak opisywano to dotychczas w dostępnej literaturze naukowej). Poniżej na rysunkach przedstawiono dla przykładu wyniki analizy

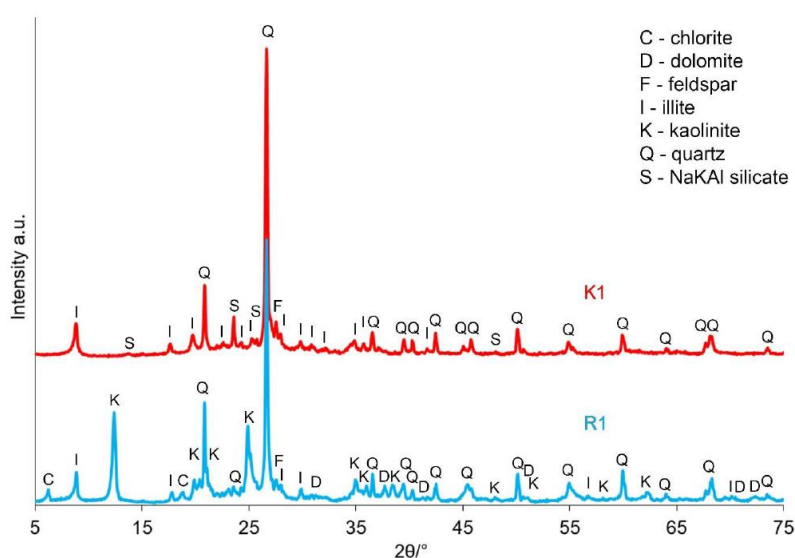
termicznej dla dwóch badanych materiałów: łupków węglowych z kopalni Piast i odpadowej glinki z Raciszyna.



Efekty związane z procesami dehydratacji i dehydroksylacji są zupełnie różne dla tych dwóch porównywanych materiałów. Różne są również efekty związane z emisją CO₂ (zarówno rozpad węglanów wapnia w glince jak też spalanie pozostałych w łupkach przyrostów węglowych). Otrzymane wyniki z analizy termicznej pozwalają na odpowiedni dobór obróbki termicznej, która jest wymagana do uzyskania bezwodnika amorficznego kaolinitu, czyli tzw. metakaolinitu. W wyniku dehydroksylacji kaolinitu zachodzącej podczas wygrzewania w temperaturze od 300 do 950 °C powstaje bezpostaciowy rentgenograficznie bezwodnik – metakaolinit, wykazujący częściowo uporządkowaną strukturę. Począwszy od temperatury ok. 925 °C, struktura metakaolinitu ulega częściowemu zniszczeniu i powstaje z niej faza spinelu glinowo-krzemowego, nieprzydatnego w wytwarzaniu geopolimerów oraz amorficzna krzemionka. Dzięki zastosowaniu metod analizy termicznej możliwe jest precyzyjne wyznaczenie temperatury przeobrażenia kaolinitu w metakaolinit. Potwierdzenie uzyskanych ilości metakaolinitu (rozkładu kaolinitu) uzyskuje się dzięki metodom XRD i określania składu fazowego. Istotne jest również to, że dehydroksylacja kaolinitu następuje w odpowiedniej

temperaturze, która jest charakterystyczna dla surowca z danego złoża. Na jej wartość ma bowiem wpływ nie tylko sama budowa wewnętrzna minerału, ale również wielkość uziarnienia oraz występowanie domieszek, które to czynniki są specyficzne dla danego złoża.

Przykład uzyskanych rezultatów przedstawiono na rysunku nr 5 poniżej (czerwonym kolorem oznaczono próbkę po kalcynacji, niebieski – materiał wyjściowy (artykuł [A3])).



Rys.5. Wyniki XRD dla surowca glinokrzemianowego pochodzącego z kopalni Piast, przed i po procesie kalcynacji.

Badając nie stosowany dotychczas surowiec odpadowy do geopolimeryzacji jakim jest glina wapieniowa pochodząca z Raciszyna (surowiec poprodukcyjny z wapienia jurajskiego) udowodniono, że glina będąca produktem ubocznym produkcji kamieni wapiennych może być atrakcyjnym materiałem do produkcji spoiw aktywowanych alkalicznie. Wyniki sprzężonej analizy termicznej TG/DTA/MS pozwoliły na ocenę i określenie zakresów temperatur procesów zachodzących podczas ogrzewania surowca poprodukcyjnego, tj. dehydratacji, dehydroksylacji, alotropowej przemiany kwarcu i termicznej dysocjacji kalcytu. Z surowca po odpowiedniej obróbce termicznej (kalcynacji) w temperaturach 700 °C i 750 °C, możliwe jest uzyskanie materiałów aktywowanych alkalicznie, charakteryzujących się wytrzymałością na ściskanie powyżej 16 MPa.

Opisane w przytoczonych artykułach podejście dotyczące metod analizy i wnioskowania na tej podstawie o parametrach obróbki, stanowi niewątpliwie wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, gdyż dotychczas podejście takie nie było powszechnie stosowane i opisywane w literaturze. Wielokrotnie możemy spotkać się natomiast w literaturze z analizami jedynie

termograwimetrycznymi, które nie dają kompleksowego obrazu odnośnie zachodzących w materiale zjawisk. Konieczne jest zastosowanie sprzężonych metod obrazujących zmiany chemiczne w zależności od zmian temperatury i masy. W analizie tej konieczne jest również zastosowanie metod XRD i obserwacja morfologii cząstek, dzięki którym możemy wnioskować o prawidłowo przeprowadzonych procesach kalcynacji.

Powyższe wyniki badań surowców i metodyka ich obróbki przyczyniły się do powstania kolejnych prac naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego i opisanych w dalszej części pracy.

Osiągnięcia w zakresie metodyki badań surowców glinokrzemianowych pozwoliły na dalszy rozwój opracowanej metodyki projektowania kompozytów geopolimerowych i realizację badań związanych z geopolimerami. Wyniki badań zostały opisane w artykułach oznaczonych [A1, A2, A4, A9].

W publikacjach tych przedstawiono wyniki badań zmierzające do uzyskania struktur geopolimerowych i zeolitowych o najlepszych parametrach użytkowych, pod kątem ich gospodarczego wykorzystania. Powiązane są one z opisanymi wcześniej publikacjami poprzez wykorzystanie wyników badań surowców i opracowanej ulepszonej metodyki projektowania właściwości i struktury. Dotyczą one głównie modyfikacji właściwości geopolimerów i syntezy zeolitów poprzez między innymi stosowanie dodatków poprawiających szereg właściwości materiałów geopolimerowych, lub zastosowanie odpowiednich warunków syntezy. Badania opisane w pracy [A2] polegały na ocenie wpływu dodatków do geopolimerów takich jak cementy glinowo-wapniowe i tlenek tytanu. Dodatek 2 i 4% cementu glinowo-wapniowego o zawartości Al_2O_3 powyżej 69% znacznie zwiększa wytrzymałość na ściskanie geopolimerów, zarówno sezonowanych w warunkach otoczenia, jak i w wodzie. Najwyższe wartości wytrzymałości na ściskanie wynoszące ok. 100 MPa uzyskano dla geopolimerów na bazie popiołu lotnego aktywowanego 8M roztworem NaOH i 4% G70. Dodatek TiO_2 obniżył wytrzymałość na ściskanie próbek geopolimerowych. Badania tendencji do wykwitów wykazały, że specjalne dodatki w postaci G40, G70 i TiO_2 nie chronią skutecznie geopolimerów przed wykwitami. Obserwacje pokazują, że opóźniają one jedynie czas formowania i ilość wykwitów na powierzchni próbek. Testy przewodności roztworów wykazały bardzo niską przewodność (około 0,5 mS / cm) dla próbek sezonowanych w wodzie. Przeprowadzone badania mają duże znaczenie, ponieważ często w przypadku stosowania odpadów/surowców gorszej jakości, zachodzi konieczność wprowadzenia dodatków do

geopolimerów w celu poprawy pewnych właściwości. Potwierdzenie skuteczności cementów glinowo-wapniowych jest korzystnym osiągnięciem w tym zakresie.

Dużym wkładem w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa są również osiągnięcia związane z badaniami immobilizacji w kompozytach geopolimerowych pozostałości z procesów spalania odpadów [artykuł **A6**]. Każdego roku na świecie wzrastają nakłady planowanych i realizowanych inwestycji związanych z budową spalarni odpadów komunalnych. Postępowanie takie umożliwia istotną redukcję objętości wytworzonych odpadów w zakresie od 80 do 95%. Jednak również w wyniku procesu spalania powstają różne materiały poprocesowe – popioły i żużle, które zawierają metale ciężkie i inne niebezpieczne substancje i powinny one zostać w odpowiedni sposób zestalone lub przetworzone tak, aby możliwe było ich bezpieczne gospodarcze wykorzystanie. W związku z planowanymi i realizowanymi inwestycjami w Polsce w zakresie budowy spalarni odpadów komunalnych, szacuje się, że po 2020 roku powstaje w wyniku spalania odpadów, około 430 tys. Mg/rok odpadów niebezpiecznych, w tym 160 tys. Mg/rok odpadów z procesów oczyszczania gazów, które zawierają znaczne ilości metali ciężkich oraz dioksyn usuniętych w procesie oczyszczania gazów spalinowych (zaliczane są do odpadów niebezpiecznych). Zastosowanie procesu geopolimeryzacji w unieszkodliwianiu odpadów niebezpiecznych daje szansę na wykorzystanie procesów unieszkodliwiania, które byłyby zgodne z najlepszymi praktykami technologicznymi oraz przepisami prawa, przy zachowaniu jednoczesnej efektywności ekologicznej. W wielu przypadkach geopolimeryzacja stanowi najlepsze i najtańsze rozwiązanie długofalowe w gospodarce odpadami. Odpady poprocesowe ze spalarni odpadów mogą być skutecznie stabilizowane/zestalone przy wykorzystaniu geopolimeryzacji opartej np. na popiołach lotnych czy metakaolinach.

W wyniku przeprowadzenia badań zaprezentowanych w artykule [**A6**] stwierdzono, że poziom immobilizacji w geopolimerach na bazie metakaolinu jest znacznie większy niż dla geopolimerów wykonanych na osnowie popiołów lotnych. Odpady wtórne ze spalarni odpadów, które zawierają znaczne ilości substancji rozpuszczalnych powinny wcześniej zostać wypłukane. Dopiero po takiej obróbce skutecznie można je poddawać procesom immobilizacji w geopolimerach. Zastosowanie takiej procedury pozwala na uzyskanie najlepszych rezultatów i zamykanie w matrycach geopolimerowych znacznie większych ilości odpadów. Odpady wtórne ze spalarni poddane zestalaniu w geopolimerach na bazie popiołów lotnych najlepsze właściwości wytrzymałości na ściskanie uzyskują po 90 dniach dojrzewania. Prawie

dwukrotnie wyższe wyniki wytrzymałości uzyskano dla geopolimerów na osnowie metakaolinu. Wytworzone geopolimery z powodzeniem mogą być stosowane np. jako: przegrody na składowiskach odpadów czy też wykorzystywane do produkcji odwodnień liniowych m.in. na wysypiskach. Osiągnięcia związane z tą tematyką są przedmiotem dwóch przyznanych patentów [A13, A14]. Jestem również jednym z głównych autorów projektu instalacji do przetwarzania odpadów (w ramach realizacji projektu POIR.01.01.01-00-0740/16).

Wykorzystanie geopolimerów do procesów immobilizacji jest bardzo korzystne i powinno się dążyć do zwiększenia udziału tego materiału w tym obszarze. Geopolimery posiadają również szereg innych właściwości pozwalających na ich bardzo szerokie zastosowanie w innych dziedzinach przemysłu i techniki. Jednym z obszarów zastosowań materiałów mineralnych aktywowanych alkalicznie i geopolimerów może być wytwarzanie materiału spienionego o niewielkiej przewodności cieplnej i dużej odporności ogniowej. Spienione polimery nieorganiczne (geopolimery) posiadają unikalne właściwości związane z wytrzymałością mechaniczną i bezpieczeństwem przeciwpożarowym. Są one materiałem o najwyższej odporności ogniowej, przewyższającej inne popularne materiały izolacyjne. W artykułach oznaczonych [A1, A4 i A9] przedstawiono wyniki badań spienionych geopolimerów i sposobów ich modyfikacji. Artykuły te powiązane są z opisywanymi wcześniej pozycjami, ponieważ wytwarzanie spienionych geopolimerów musi opierać się na wynikach badań zastosowanych surowców jak również na wynikach badań kompozycji geopolimerów litych. Spienione geopolimery otrzymuje się poprzez napowietrzanie (lub inne media) masy geopolimerowej tak jak przy geopolimerach opisywanych wcześniej.

Obserwowany obecnie trend badawczy wskazuje na realizację szeregu prac nad osiągnięciem jak najlepszych parametrów izolacyjnych spienionych geopolimerów. Nie istnieją jednak standardowe procedury i parametry procesu uzyskiwania pianek geopolimerowych. Parametry muszą być dobierane indywidualnie w zależności od dostępnych lokalnych surowców. Stwierdzono dobrą zależność współczynnika przewodzenia ciepła od gęstości wytworzonych materiałów co jest oczywiście zgodne z oczekiwaniami. W celu dalszej poprawy (obniżenia) współczynnika przewodności cieplnej należałoby obniżyć gęstość materiału (zwiększyć stopień spienienia) poprzez zwiększenie ilości substancji spieniającej. Jednak obniżenie gęstości w ten sposób nie zawsze jest możliwe ze względu na obniżenie parametrów wytrzymałościowych. W wielu zastosowaniach wytrzymałość mechaniczna jest również ważna. Coraz częściej myśli się o przegrodach dwu- lub trzywarstwowych, w których

geopolimery spienione mogą pełnić funkcję izolacyjną i jednocześnie konstrukcyjną (dla elementów murowych przeznaczonych dla budynków np. do dwóch kondygnacji).

W artykułach [A1, A4 i A9] opisano procesy spieniania, które zakładają stosowanie najbardziej dostępnych surowców umożliwiających otrzymanie powtarzalnych efektów również w skali produkcji przemysłowej. Jeżeli chodzi o powtarzalność uzyskiwanych rezultatów i stabilność pianek geopolimerowych to niezwykle istotne są wszelkie badania pozwalające na dokładny dobór i optymalizację głównych parametrów:

- kinetyka rozkładu nadtlenków – produkcja tlenu
- wzrost lepkości geopolimerów

Na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzono, że możliwe jest uzyskiwanie pianek geopolimerowych charakteryzujących się gęstością około 400 kg/m^3 i przewodnością cieplną poniżej 1 W/mK z surowców takich jak popioły lotne z Elektrociepłowni Skawina. Możliwe jest również wytworzenie spienionych geopolimerów charakteryzujących się gęstościami w zakresie $200 - 400 \text{ kg/m}^3$. Cel ten osiągnąć można poprzez zwiększenie ilości czynnika spieniającego a także odpowiedni sposób mieszania (homogenizacji) mieszanki geopolimerowej. Przy zastosowaniu odpowiednich procedur możliwe jest uzyskiwanie pianek o współczynniku przewodzenia ciepła na poziomie $0,06 \text{ W/mK}$. Często wiąże się to z dodatkami stabilizatorów piany i środków powierzchniowo czynnych. W artykule [A4] przedstawiono osiągnięcia dotyczące dodatku surfaktantów i materiałów hydraulicznych w procesie spieniania geopolimerów. Celem badań było określenie jak sprawdzą się spoiwa hydrauliczne stosowane jako stabilizatory pianek geopolimerowych w połączeniu z surfaktantami. Główną nowością prezentowanych wyników jest to, że przeprowadzono równocześnie analizę wpływu dodatków hydraulicznych, jak i surfaktantów na właściwości wytworzonych pianek geopolimerowych. Dodatki takie jak cement czy gips miały na celu stabilizację piany i jej szybsze wiązanie, podczas gdy środki powierzchniowo czynne miały na celu zmianę napięcia powierzchniowego. Do tej pory analiz takich nie przedstawiono w artykułach naukowych, chociaż osobny wpływ obu rodzajów tych dodatków jest znany.

W wyniku badań stwierdzono, że zastosowanie nadtlenku wodoru przynosi lepsze rezultaty w porównaniu do środka porotwórczego jakim jest proszek aluminium. Zastosowanie środka hydraulicznego w postaci cementu przyniosło lepsze rezultaty niż w przypadku wykorzystania

siarczanu wapnia (gips). Najlepszy efekt uzyskano przy połączeniu środków powierzchniowo czynnych i materiałów hydraulicznych.

Niejako podsumowaniem prac nad geopolimerami spienionymi jest najnowszy (z 2021 r.) artykuł autorski oznaczony [A1]. W artykule tym dokonano kompleksowego przeglądu metod wytwarzania spienionych geopolimerów i najlepszych uzyskiwanych parametrów oraz sporządzono zestawienie najważniejszych informacji podawanych w literaturze naukowej. Dokonano również krytycznej analizy możliwości wdrożenia tej technologii do masowego wykorzystania. Przedstawiono szereg problemów i ograniczeń, które napotyka się najczęściej przy próbie wdrożenia technologii geopolimerów. W artykule przedstawiono najnowsze wyniki badań związane z osiągnięciem jak najlepszych parametrów izolacyjnych spienionych geopolimerów i krytycznie odniesiono się do perspektywy wdrożenia tych materiałów do masowej produkcji. Ze względu na szereg problemów związanych głównie ze stabilnością pianek i powtarzalnością parametrów w produkcji masowej a także ze względu na bardzo dużą wrażliwość technologii na zmianę cen surowców, rozpoczęcie masowej produkcji spienionych izolacyjnych materiałów geopolimerowych nie będzie miało miejsca w ciągu najbliższych kilku lat. Należy poczynić jeszcze znaczne kroki w badaniach nad tego typu materiałami i dążyć do wytwarzania materiałów geopolimerowych aktywowanych nie tylko wodorotlenkiem sodu, lecz również kwasami. Przed naukowcami pozostaje jeszcze wiele do zrobienia w tej dziedzinie. Oczywiście możliwe jest wdrożenie spienionych geopolimerów na niewielką skalę do zastosowań niszowych, co ma obecnie miejsce już w kilku krajach. Ciągłym wyzwaniem pozostaje osiągnięcie parametrów powszechnie stosowanych materiałów izolacyjnych takich jak ekspandowany polistyren czy pianki poliuretanowe lub włókna celulozy.

Dużym wyzwaniem jest również poszukiwanie innych alternatywnych źródeł surowców do produkcji geopolimerów. W wielu częściach świata ze względu na politykę ekologiczną i odejście od stosowania węgla w energetyce, nie będzie możliwości produkowania geopolimerów z ubocznych produktów spalania węgla.

Przedstawione w powyższym artykule krytyczne analizy stanowią wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa ze względu na dokładną analizę realności wdrożenia i uzyskiwanych na Świecie wyników badań. Przedstawione w artykule informacje i wnioski zostały sformułowane na podstawie szerokiego przeglądu literatury i dotychczas nie istniała w literaturze tak kompleksowa i krytyczna analiza problemu wdrożenia geopolimerów. W artykule na podstawie literatury i własnego doświadczenia określono i podsumowano główne

ograniczenia związane z wdrożeniem materiałów geopolimerowych na skalę masową.

Wymienić tutaj należy jako główne bariery:

- Brak dostępności surowców takich jak popiół lotny ze spalania węgla kamiennego i żużel hutniczy. W wielu krajach nie są one powszechnie dostępne a często większość z tych materiałów jest traktowana jako odpady przemysłowe, nie zaś jako surowiec do produkcji materiałów np. budowlanych (poza pewnymi wyjątkami).
- Surowce pochodzenia naturalnego takie jak metakaoliny są jednak ciągle za drogie w porównaniu do cementu.
- Jest to technologia wrażliwa na zmiany cen surowców i wymagająca zapewnienia dużego reżimu technologicznego.
- Brak jest dostępnych domieszek poprawiających procesy wiązania. Domieszki dedykowane dla betonów nie zawsze sprawdzają się w przypadku betonów geopolimerowych.
- Dotychczas ilość praktycznych wdrożeń produktów i konstrukcji jest bardzo ograniczona, stąd też istnieje niewielkie doświadczenia aplikacyjne.
- Brak jest odpowiednich standardów i norm dedykowanych dla betonów geopolimerowych.

Osiągnięcia w zakresie metod charakterystyki surowców pod kątem alkalicznej aktywacji pozwoliły również na rozwój badań związanych z syntezą zeolitów. Publikacje oznaczone [A3, A7, A8] prezentują dorobek w zakresie badań i różnych metod syntezy zeolitów i wyników badań właściwości uzyskiwanych produktów zeolitowych.

Największym osiągnięciem naukowym przedstawionym w cyklu publikacji z tego zakresu jest uzyskanie zeolitów w wyniku syntezy materiałów odpadowych, z których dotychczas nie uzyskiwano zeolitów. We wspomnianym już wcześniej i omawianym artykule oznaczonym [A3] opisano sposób obróbki termomechanicznej odpadów z kopalni węgla w celu uzyskania materiału do syntezy zeolitów a także opisano proces ich syntezy oraz przedstawiono otrzymane rezultaty. Jest to bardzo innowacyjne podejście, gdyż w Polsce dotychczas łupki węglowe będące odpadem przy produkcji węgla, wykorzystywano jedynie do produkcji kruszyw i podsypki drogowych. Możliwość sterowania właściwościami takich materiałów poprzez odpowiednią obróbkę termomechaniczną i wzbogacanie, powoduje, że materiał ten jest bardzo atrakcyjnym surowcem do produkcji zeolitów. Rozwiązanie to zostało również zgłoszone do ochrony patentowej.

Praca badawcza dotycząca syntezy zeolitów z materiałów naturalnych [A8] dotyczyła badań i syntezy takich materiałów jak tuf filipowicki i metakaolin. Materiały te są atrakcyjnymi materiałami do syntezy zeolitów. Najlepsze metody syntezy dla metakaolinu to metody niskotemperaturowe. W wyniku syntezy metakaolinu uzyskano takie materiały jak: Zeolit X (Na), Zeolit A (Na) i Halloysite-10A. W wyniku syntezy tufu uzyskano: Zeolite X (Na), Zeolite Y (Na), Faujasite-K i Faujasite-Na. W artykule opisano sposób wytwarzania zeolitów syntetycznych na bazie filipowickiego tufu wulkanicznego, który jest materiałem występującym lokalnie i posiadającym unikalne właściwości (co potwierdzone zostało wielokrotnie w wielu publikacjach naukowych). Dotychczas z tufu wulkanicznego (poza naturalnymi zeolitami tufowymi itp.) nie uzyskiwano zeolitów syntetycznych. Rozwiązanie to zostało zgłoszone do ochrony patentowej i został przyznany patent na terytorium RP [A12] (PL232899). Dzięki rozwiązaniom przedstawionym w opisie patentowym możliwe jest uzyskiwanie materiałów zeolitycznych charakteryzujących się wysokimi wartościami powierzchni właściwej dochodzącymi do 600 m²/g, dużymi zdolnościami wymiany jonowej, mikroporowością (średnica porów 0,5-0,7 nm), mezoporowością, a także wysoką selektywnością adsorpcji szkodliwych lub niechcianych związków znajdujących się w glebie, wodzie lub powietrzu.

Produkty zeolityczne uzyskane w wyniku syntezy popiołów z kotłów fluidalnych [A7] metodą niskotemperaturową charakteryzują się wartością powierzchni właściwej BET wynoszącą około 213 m²/g, natomiast w przypadku syntezy metodą fuzji otrzymano materiały zeolityczne posiadające powierzchnię właściwą BET około 120 m²/g. Popioły lotne pochodzące z kotłów fluidalnych są atrakcyjnym materiałem służącym do syntezy zeolitów. Po zastosowaniu metody niskotemperaturowej uzyskano zeolit X, natomiast po procesie syntezy metodą fuzji otrzymano sodalit. Należy podkreślić, że zagadnienie związane z syntezą zeolitów z popiołów z kotłów fluidalnych (CFB) jest innowacyjnym podejściem i w trakcie realizacji wspomnianych badań jedynie dwie jednostki badawcze zajmowały się tym zagadnieniem na Świecie i prezentowały w dwóch dostępnych wówczas artykułach odmienne wyniki badań.

Badania prowadzone w zakresie syntezy zeolitów przyczyniły się do uzyskania dwóch patentów wymienionych w osiągnięciu naukowym: [A12] i [A15]. Wynalazki te podają bardzo specyficzne sposoby uzyskiwania zeolitów z trudnych do konwersji materiałów. W przypadku glinokrzemianów pochodzących ze spalania i współspalania biomasy, udowodniono, że najlepsze efekty w zakresie zeolityzacji zostaną osiągnięte poprzez proces polegający na alkalicznej hydrotermalnej aktywacji w warunkach podwyższonego ciśnienia, który

charakteryzuje się tym, że do ciśnieniowego reaktora wprowadza się kompozycję popiołu lotnego zawierającego w swym składzie chemicznym składniki tlenkowe w ilości 20-60% wag. SiO₂ 20-60% wagowych, 2,1-13% wag. Al₂O₃, 2,1-13% wagowych dodaje się czynnik alkaliczny w ilości od 1 do 20 ml na 1 g kompozycji popiołu lotnego, opcjonalnie wprowadza się czynniki modyfikujące, tak otrzymaną mieszaninę miesza się, wstępnie podnosi ciśnienie w układzie reakcyjnym do poziomu 0,1 - 0,6 MPa, utrzymuje układ reakcyjny w tym stanie przez okres od 2 do 10 minut, następnie układ reakcyjny podgrzewa się do temperatury powyżej 70 °C, korzystnie w zakresie 75 - 160 °C ze stałą prędkością przy jednoczesnym wzroście ciśnienia w układzie reakcyjnym do poziomu powyżej 1 MPa, korzystnie do poziomu 1,1 – 1,8 MPa i utrzymuje układ reakcyjny w tym stanie przez okres od 1-6 godzin, następnie układ reakcyjny chłodzi się ze stałą prędkością, usuwa z układu reakcyjnego nadmiar czynnika alkalicznego, a otrzymany produkt przemywa się wodą o podwyższonej temperaturze, do zadanej wartości pH w wodzie popłucznej, a następnie suszy.

5.3. Podsumowanie i dodatkowe informacje

Opisane powyżej osiągnięcia mają wartość nie tylko naukową, lecz przede wszystkich przyczyniają się one do zwiększenia możliwości aplikacyjnych zeolitów czy geopolimerów. Wynikiem prac badawczych i wdrożeniowych jest założenie pierwszej spółki spin-off Politechniki Krakowskiej. Jest to pierwsza w Polsce i jedna z pierwszych w Europie spółek zajmujących się wdrażaniem wyników prac badawczych w obszarze geopolimerów i materiałów aktywowanych alkalicznie. (Spółka ALSITECH (założona przez Michał Łach, Janusz Mikuła wspólnie z „partnerem biznesowym”) powstała w roku 2015 w celu komercjalizacji technologii związanej z geopolimerami. W chwili obecnej spółka udzieliła 1 licencji na wykorzystanie technologii związanej z wykorzystaniem geopolimerów i jest ona na etapie podpisywania kolejnych umów licencyjnych związanych z wdrożeniem prac badawczych zrealizowanych w obszarze geopolimerów).

Realizowane badania były jednymi z pierwszych w Polsce w tym obszarze (poza badaniami realizowanymi na AGH, lecz nieco w innym zakresie; m.in. Deja, Małolepszy, Gołek). Pierwsze publikacje mojego autorstwa (współautorstwa), dotyczące geopolimerów, pojawiły się już w roku 2012. Dzięki osiągnięciom w zakresie badań nad geopolimerami Wydział Inżynierii Materiałowej jest liczącą się na Świecie jednostką badawczą w tym obszarze. Obecnie w Polsce w kilkunastu jednostkach prowadzi się badania związane z geopolimerami i jest to niewątpliwie pośredni efekt działań związanych z moimi pionierskimi na Polskiej scenie

badawczej działaniami w tym zakresie. Efekty badań nad geopolimerami realizowanymi wspólnie z Profesorem Januszem Mikułą były wielokrotnym tematem doniesień medialnych, co przyczyniło się także do zwiększenia świadomości społecznej w tematyce rozwoju materiałów. W odniesieniu do tej tematyki od 2015 roku zauważalny jest ciągły wzrost zainteresowania geopolimerami w Polsce. Efektem kilkunastoletnich badań naukowych poza wspomnianymi publikacjami naukowymi są uzyskane: 6 patentów krajowych, kilka opisów know-how technologii jak również seria zgłoszeń patentowych. Cały mój dorobek związany z opracowaniem nowych materiałów i technologii (przed i po doktoracie), to (współautorstwo) około: 25 rozdziałów w monografiach, 45 artykułów w czasopismach, 65 materiałów konferencyjnych; uzyskane 6 patentów krajowych, 4 zgłoszenia patentowe, 5 opisów technologii know-how.

Prowadzone przeze mnie badania i opracowywane technologie materiałowe wpisują się w zasady: gospodarki bezodpadowej (Zero Waste Europe), efektywnego korzystania z zasobów (Resource Efficient Europe) oraz gospodarki o obiegu zamkniętym (CircularEconomy) i mają duże znaczenie dla gospodarki kraju i Europy. Wyniki prowadzonych badań spotykają się z zainteresowaniem ze strony przemysłu i są stopniowo komercjalizowane. Realizuję wspólnie z przedsiębiorstwami przemysłowymi innowacyjne badania związane z przetwarzaniem różnego rodzaju surowców antropogenicznych na spoiwa i kompozyty geopolimerowe.

Realizowane badania mają duże znaczenie gospodarcze ponieważ mogą przyczynić się do wzrostu konkurencyjności polskich przedsiębiorstw, ograniczenia emisji CO₂ (geopolimery jako alternatywa dla betonów na bazie cementu portlandzkiego emitują kilkukrotnie mniej CO₂ przy produkcji), ograniczenia składowisk odpadów wtórnych, zwiększenia świadomości społecznej pod kątem występujących zagrożeń, zwiększenia bezpieczeństwa ekologicznego związanego z opracowaniem efektywnych i bezpiecznych ekologicznie metod przetwarzania odpadów. W realizowanych badaniach kładę również nacisk na opracowanie innowacyjnych materiałów budowlanych o obniżonym śladzie węglowym, bazujących na odpadach przemysłowych, a także materiałów o właściwościach zapewniających ich trwałość w warunkach eksploatacji w naszej strefie klimatycznej. Prowadzone badania przyczyniają się także do poprawy społecznego odbioru UPS (Uboczne Produkty Spalania) i pozwalają zwiększyć poziom wiedzy na temat możliwości wykorzystywania UPS w poszczególnych gałęziach gospodarki.

Obecnie biorę również udział w przeprowadzaniu kompleksowej analizy LCA (Life-Cycle Assessment) dla geopolimerów wytwarzanych w Polsce oraz oceny ich wpływu na środowisko. Podjęte działania przyczynią się do stworzenia modelu dla materiałów geopolimerowych a otrzymane wyniki badań mogą być wykorzystywane zarówno przy projektowaniu nowych rozwiązań dla budownictwa, jak i przy określaniu wpływu samego materiału na środowisko, co może zostać wykorzystane w procesie normalizacji/certyfikacji wyrobów z niego wykonanych.

Jestem również kierownikiem dwóch projektów związanych z wykorzystaniem materiałów zmiennofazowych w geopolimerach oraz z przetwarzaniem diatomitu. Stanowi to także istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, ponieważ jest to innowacyjne w Polsce podejście naukowe związane z wykorzystaniem materiałów zmiennofazowych w spienionych geopolimerach. Kieruję także zespołem badawczym zajmującym się badaniami diatomitu (z jedynej w Polsce kopalni tego surowca) i opracowaniem innowacyjnego produktu do pochłaniania substancji ropopochodnych.

Zdobytą wiedzę wykorzystuję intensywnie i poszerzam przy współpracy z przedsiębiorstwami. Byłem wykonawcą kilkudziesięciu zleceń badawczych dla przemysłu. Byłem i jestem wykonawcą w projektach badawczych realizowanych wspólnie z przedsiębiorstwami, na łączną kwotę ponad 70 mln zł. Obecnie kieruję projektami o budżecie ponad 4 mln PLN. Odbyłem kilka staży przemysłowych i realizuję kolejne. Biorę aktywny udział w różnego rodzaju konsorcjach i sieciach badawczych. Jestem i byłem wykonawcą w międzynarodowych projektach takich jak np.: „Fiber” realizowany w konsorcjum m.in. z Ameryką Łacińską (Peru, Argentyną, Urugwajem, Turcją, Rumunią, Łotwą). Współpracuję z grupą naukowców m.in. z Akademii Górniczo-Hutniczej i Uniwersytetu Rolniczego, w ramach konsorcjum uczelni InnoTechKrak. Współpracuję również przy realizacji projektów badawczych oraz przy okazji współpracy z przemysłem, z naukowcami między innymi z: Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Głównego Instytutu Górnictwa, Wojskowej Akademii Technicznej, Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie, Politechniki Lubelskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej, Politechniki Łódzkiej i Politechniki Warszawskiej.

Współpraca międzynarodowa dotycząca geopolimerów rozwija się obecnie bardzo intensywnie. Uczestniczyłem w pobytach naukowych na zagranicznych uniwersytetach:

Norwegia (1 tydzień), Australia (2 tygodnie), Malta (2 tygodnie), Islandia (1 tydzień), Turcja (1 tydzień), Urugwaj (2 tygodnie), Łotwa (1 tydzień), Czechy (2,5 miesiąca).

W celu popularyzacji nauki i reprezentowania Uczelni kilkakrotnie uczestniczyłem lub przygotowywałem stanowiska w organizowanych w Krakowie wydarzeniach takich jak np.: Małopolska Noc Naukowców lub Festiwal Nauki w Krakowie, podczas których m.in. prowadziłem warsztaty z zakresu inżynierii materiałowej.

Swoje kwalifikacje podniosłem również poprzez uczestnictwo w licznych szkoleniach, seminariach i kursach. W trakcie dotychczasowej mojej pracy naukowej na uczelni byłem promotorem ok 30 prac dyplomowych (15 prac magisterskich i 16 prac inżynierskich). Jestem również promotorem pomocniczym w trzech przewodach doktorskich. Jednym z potwierdzeń moich osiągnięć dydaktycznych jest otrzymana nagroda zespołowa Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za osiągnięcia dydaktyczne.

Jestem głównym opiekunem i jednym z twórców programu studiów na specjalności: „Technologie i materiały przyjazne środowisku”. Jestem współautorem kilku kart przedmiotów dla nowo utworzonych przedmiotów (od 2019).

5.4. Dane naukometryczne

Dane naukometryczne charakteryzujące dorobek naukowo-badawczy habilitanta na dzień 15.02.2022 przedstawiają się następująco:

- **według bazy Web of Science**

- liczba notowanych publikacji: 37
- liczba cytowań: 238 (bez autocytowań 163)
- indeks Hirscha: $h = 10$

- **według bazy Scopus**

- liczba notowanych publikacji: 53
- liczba cytowań: 381 (bez autocytowań 249)
- indeks Hirscha: $h = 11$

- **według bazy Research Gate**

- liczba notowanych publikacji: 73
- liczba cytowań: 485
- indeks Hirscha: $h = 13$

- według bazy Google Scholar

- liczba notowanych publikacji: 161

- liczba cytowań: 596

- indeks Hirscha: $h = 13$

6. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Od wielu lat intensywnie współpracuję z naukowcami z jednostek zagranicznych, zarówno w realizacji projektów badawczych jak i przy prowadzeniu badań niezwiązanych z konkretnym źródłem finansowania. Potwierdzeniem mojej współpracy są wizyty i staże w jednostkach zagranicznych, publikacje współautorskie z naukowcami z zagranicy jak również udział w projektach w konsorcjach międzynarodowych. Brałem również udział w konferencjach naukowych zagranicznych oraz byłem członkiem komitetów organizacyjnych i naukowych konferencji międzynarodowych. Byłem jednym z głównych organizatorów konferencji międzynarodowej w Urugwaju w 2019 roku i głównym edytorem materiałów konferencyjnych wydanych w formie monografii w wydawnictwie IOP Publishing. Aktywnie współpracuję z naukowcami z innych jednostek w kraju i za granicą. Jestem i byłem Guest Edytorem wydań specjalnych czasopism wspólnie z partnerami naukowymi z zagranicy. Wykaz poszczególnych wybranych aktywności zamieszczam poniżej:

Współpraca z jednostkami krajowymi:

1. Udział w konsorcjum badawczym w ramach związku uczelni InnoTechKрак: Współpraca **Politechniki Krakowskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej, Uniwersytetu Rolniczego** w ramach tematów dotyczących technologii produkcji nowoczesnych nawozów i środków poprawiających właściwości gleby, składających się z zeolitów, biowęgla oraz materiałów organicznych pochodzących z uprawy roślin oraz hodowli zwierząt.
2. Publikacje z pracownikami innych polskich uczelni (między innymi: Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH (współpraca z: Marcin Goły); Wydział Geologii, Geoinżynierii i Ochrony Środowiska AGH (współpraca z: Tomasz Bajda); Instytut Fizjologii Roślin im. Franciszka Górskiego Polskiej Akademii Nauk (współpraca z: Magdalena Szechyńska-Hebda):
 - Thermal phenomena of alkali-activated metakaolin studied with a negative temperature coefficient system / Dariusz Mierzwiński, **Michał Lach**, Marek Hebda, Janusz Walter, **Magdalena Szechyńska-Hebda**, Janusz Mikołaj // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry [online]. – 2019, Vol. 138, Iss. 6, s. 4167-4175. – doi: 10.1007/s10973-019-08471-7. – ISSN 1588-2926; Ujednolicona lista MNiSW 2013-2016: A; Ujednolicona punktacja MNiSW 2013-2016:

25Publikacja indeksowana w Web of Science: tak; Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak typ: artykuł w czasopiśmie

- Stabilization of ash and slag from combustion of medical waste in the geopolymers matrix / Mierzwiński Dariusz, **Michał Łach**, Janusz Mikuła, **Góły Marcin** // E3S Web of Conferences– 2018, Vol. 44, s. [1-8]. – Mat. konf.: 10th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK 2018, Polanica-Zdrój, Poland, 16-18.04.2018. – doi: 10.1051/e3sconf/20184400110. – ISSN 2267-1242; Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
- Production of zeolite sorbents from burning and co-burning biomass with coal / **Michał Łach**, Agnieszka Grela, **Tomasz Bajda**, Dariusz Mierzwiński, Norbert Komar, Janusz Mikuła // E3S Web of Conferences– 2018, Vol. 44, s. [1-7]. – Mat. konf.: 10th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK2018, Polanica-Zdrój, Poland, 16-18.04.2018. – doi: 10.1051/e3sconf/20184400097. – ISSN 2267-1242; Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
- Characterization of the products obtained from alkaline conversion of tuff and metakaolin / Agnieszka Grela, **Michał Łach**, **Tomasz Bajda**, Janusz Mikuła, Marek Hebda // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry – 2018, Vol.133, Iss. 1, s. 217-226. – Data publikacji postprintu: 2018-01-23. – doi: 10.1007/s10973-018-6970-z. – ISSN 1588-2926 Ujednolicona lista MNiSW 2013-2016: A; Ujednolicona punktacja MNiSW 2013-2016: 25; Publikacja indeksowana w Web of Science: tak Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak typ: artykuł w czasopiśmie
- Characteristics of sorbent products obtained by the alkaline activation of waste from waste incineration plants / Agnieszka Grela, **Michał Łach**, **Tomasz Bajda**, Janusz Mikuła // Mineralogia– 2017, Vol. 48, No. 1-4, s. 87-105. – doi: 10.1515/mipo-2017-0015. – ISSN 1899-8526 Ujednolicona lista MNiSW 2013-2016: B Ujednolicona punktacja MNiSW 2013-2016: 15; Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak typ: artykuł w czasopiśmie
- Obtaining zeolites from slags and ashes from a waste combustion plant in an autoclave process / Agnieszka Grela, **Michał Łach**, Dariusz Mierzwiński, **Tomasz Bajda**, Janusz Mikuła // E3S Web of Conferences – 2017, Vol. 17, s. [1-8]. – Mat. konf.: 9th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering (EKO- DOK 2017), Boguszów-Gorce, Poland, 23-25.04.2017. – doi: 10.1051/e3sconf/20171700026. – ISSN 2267-1242; Publikacja indeksowana w Web of Science: tak; Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak, typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
- Alkaliczna aktywacja popiołów po spalaniu mułów węglowych / Agnieszka Grela, **Michał Łach**, **Tomasz Bajda**, Janusz Mikuła // Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk [online]. –2016, nr 95, s. 181-191. – ISSN 2080-0819 Ujednolicona lista MNiSW 2013-

2016: B; Ujednolicona punktacja MNiSW 2013-2016: 9; typ: artykuł w czasopiśmie

4. Wspólne zgłoszenia patentowe z pracownikami Akademii Górniczo-Hutniczej z Wydziału Geologii, Geoinżynierii i Ochrony Środowiska AGH (współpraca z: Tomasz Bajda):

- **Michał Łach**, Janusz Mikuła, Agnieszka Grela, **Tomasz Bajda**, Norbert Komar; „Sposób otrzymywania zeolitów i sorbentów z odpadów powydobywczych”; P.424413;
- **Michał Łach**, Agnieszka Grela, Janusz Mikuła, **Tomasz Bajda**, Dariusz Mierzwiński, Norbert Komar; „Sposób syntezy zeolitów z popiołów powstałych ze spalania i współspalania biomasy”; P.420936

Wizyty studyjne w zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich:

- Nigde Omer Halisdemir University, Nigde, Turcja, uczestnictwo w warsztatach i konferencji naukowej. Warsztaty realizowane w ramach projektu FIBRE (24.06.2019-29.06.2019).
- Reykiavik University, Islandia; Wizyta studyjna (13.06.2019 – 20.06.2019).
- School of Civil and Environmental Engineering, UNSW Australia; Wizyta studyjna (16.02.2019-26.02.2019).
- Malta College of Arts, Science and Technology (MCAST); Wizyta studyjna (11.03.2019-22.03.2019).
- The Ostfold University College, Halden; Norwegia; Wizyta studyjna (02.10.2017-06.10.2017).
- Institut Géopolymère 16 rue Galilée 02100 Saint-Quentin – France; Udział w warsztatach zagranicznych GeopolymerCamp 2017, Francja (10.07.2017-12.07.2017).
- Riga Technical University, Latvia, uczestnictwo w warsztatach i konferencji naukowej (23.09.2019-28.09.2019)
- Universidad Católica del Uruguay; Urugwaj, Montevideo, wizyta studyjna (24.11.2019-30.11.2019)
- Miskolc University; Węgry, ERASMUS +; (23.02.2020-29.02.2020)
- Technical University of Liberec, Czechy, staż dydaktyczno-naukowy – 2 miesiące (od 29.06.2021 do 29.07.2021) (od 08.09.2021 do 08.10.2021)
- Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering; staż naukowy (wizyta) (13-17.12.2021)

Wykonawca w projektach międzynarodowych:

1. ELAC2015/T02-0721, „Development of ecofriendly composite materials based on geopolymer matrix and reinforced with waste fibers”, ERANET financed by FP7, wykonawca. Projekt „Fiber” realizowany był w konsorcjum **m.in. z Ameryką Łacińską (Peru, Argentyna, Urugwajem, Turcją, Rumunia, Łotwą).**

2. 710078-INNOWATREATRFCS-2015/RFCS-2015, „The innovative system for coke oven wastewater treatment and water recovery with use of clean technologies”, European Commission, Industrial Technologies Coal and Steel, Wykonawca. Projekt ten realizowany był przez następujące państwa: **Polska, Niemcy, Czechy.**

3. Projekt E-mobilność oraz zrównoważone materiały i technologie; nr PPI/APM/2018/1/00027; finansowany przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w ramach Programu „Akademickie Partnerstwa Międzynarodowe”; Wykonawca **współpracujący z: Universidad Católica del Uruguay, Uruguay; Dept. of Civil Engineering, National Ilan University, Taiwan; School of Civil and Environmental Engineering, UNSW Australia; Institute for Mechanics of Materials, University of Latvia, Latvia; Reykiavik University, Island; Malta College of Arts, Science and Technology (MCAST)**

4. GEOPOLI - wizyta przedstawicieli polskiej instytucji **w Norwegii**, numer: 9-FWD, okres realizacji: Październik, 2017, wielkość dofinansowania: 5 250 EUR, charakter udziału w projekcie: Wykonawca/uczestnik.

5. Wykonawca w międzynarodowym projekcie związanym z opracowaniem wspólnych studiów II stopnia. Współpraca **z Ukrainą (Politechnika Lwowska).** KATAMARAN – Przygotowanie i realizacja wspólnych studiów II stopnia; PPI/KAT/2019/1/00021/U/000016. 2019 – 2021, Establishing joint second-cycle studies in the framework of additive manufacturing – ADDVALUE (PPI/KAT/2019/1/00021), NAWA -

6. Projekt „REG – region uczący się”, finansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój; nr umowy POWR.03.05.00-00-ZR28/18. Wykonawca projektu.

Aktywny udział w konferencjach międzynarodowych:

1. 1st International Conference on Environment, Technology and Management (ICETEM) in **Niğde, Turkey**, 27-29 June 2019.

Poster 1: Mikuła J., **Łach M.**, Ronczoszek T., Korniejenko K., Characterization of Geopolymers based on Polish Coal Gangues – download

Poster 2: **Łach M.**, Korniejenko K., Ronczoszek T., Komar N., Mikuła J., The Possibilities of Use Coal Gangues as an Additive to Geopolymer Concretes

2. **Łach M.**, Korniejenko K., Komar N., Mikuła J., A Study on the Physicochemical Properties of Different Post-Process Wastes from Thermal Processes; 4th International Conference “Innovative Materials, Structures and Technologies” (IMST 2019) **in Riga, Latvia**, 25-27 September 2019 (wygłoszenie referatu)

3. **Michał Łach**; Mechanical Properties of Geopolymers Reinforced with Carbon and Aramid Long Fibers; Development of eco-friendly composite materials based on geopolymer matrix

and reinforced with waste fibers 28-29.11.2019; **Uruguay, Montevideo**, Catholic University of Uruguay Damas Antonio Larrañaga; (wygłoszenie referatu)

4. **Michał Łach**; Strength and leachability of geopolymers with the addition of municipal solid waste ashes; Development of eco-friendly composite materials based on geopolymer matrix and reinforced with waste fibers 28-29.11.2019; **Uruguay, Montevideo**, Catholic University of Uruguay Damas Antonio Larrañaga; (wygłoszenie referatu)

5. **Michał Łach**; Utilization of waste from incineration plants in geopolymer concrete and geopolymer aggregates; World Conference on Systems Engineering Research (WCSE-19); **Buenos Aires, Argentine Republic; 22.11.2019**(poster)

6. **M. Łach**, K. Lichocka, M. Hebdowska-Krupa, W.-T. Lin and K. Korniejenko; The use of geopolymers for the disposal of asbestos-containing materials; MATBUD'2020 Scientific-Technical Conference: E-mobility, Sustainable Materials and Technologies 19-21 October 2020 Cracow, POLAND; (wygłoszenie referatu)

7. K. Łopata, K. Korniejenko, B. Azzopardi and **M. Łach**; Materials selection and tests for precise execution of foundry molds designed to geopolymer casts; MATBUD'2020 Scientific-Technical Conference: E-mobility, Sustainable Materials and Technologies 19-21 October 2020 Cracow, POLAND; (wygłoszenie referatu)

Wykaz publikacji z autorami z zagranicznych jednostek naukowych (Tajwan, Rumunia, Łotwa, Peru, Urugwaj, Węgry, Egipt, Turcja, Argentyna, Malta, Francja, Czechy):

1. Permeability of ultra-fine reactive fly ash applied to cement-based composites / **Wei-Ting Lin, An Cheng, Wei-Chung Yeh**, Kinga Korniejenko, Marek Hebda, **Michał Łach** // W: Current Topics and Trends on Durability of Building Materials and Components: proceedings of the XV edition of the International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC 2020) Barcelona, Spain 20-23 October 2020 / ed. by Carles Serrat, Joan Ramon Casas, Vicente Gibert. – Barcelona, Spain: International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), 2020. – S. 465-472
2. Determination of the influence of hydraulic additives on the foaming process and stability of the produced geopolymer foams / **Michał Łach**, Kinga Pławecka, Agnieszka Bąk, Katarzyna Lichocka, Kinga Korniejenko, **An Cheng, Wei-Ting Lin** // Materials – 2021, Vol. 14, Iss. 17, 14 s.
3. Review of solutions for the use of phase change materials in geopolymers / **Michał Łach**, Kinga Pławecka, Agnieszka Bąk, Marcin Adamczyk, Patrycja Bazan, Barbara Kozub, Kinga Korniejenko, **Wei-Ting Lin** // Materials – 2021, Vol. 14, Iss. 20, 18 s.
4. Concept of flocks fragmentation and averaging method for the application of electrocoagulation in process for coke oven wastewater treatment / Dariusz Mierziński, Przemysław Nosal, Andrzej Szczepanik, **Michał Łach**, **Martin Duarte**

- Guigou**, Marek Hebda, Kinga Korniejenko // Materials– 2021, Vol. 14, Iss. 21, Spec. Iss., 19 s.
5. Recycling of mechanically ground wind turbine blades as filler in geopolymer composite / Kinga Pławecka, Jakub Przybyła, Kinga Korniejenko, **Wei-Ting Lin, An Cheng, Michał Łach** // Materials – 2021, Vol. 14, Iss. 21, 19 s.
 6. Effect of fiber reinforcement on the compression and flexural strength of fiber-reinforced geopolymers / **Michał Łach**, Bartłomiej Kluska, Damian Janus, Dawid Kabat, Kinga Pławecka, Kinga Korniejenko, **Martin Duarte Guigou, Marta Chońska** // Applied Sciences – 2021, Vol. 11, Iss. 21, Spec. Iss., 21 s.
 7. Hybrid materials based on fly ash, metakaolin, and cement for 3D printing / Joanna Marczyk, Celina Ziejewska, Szymon Gądek, Kinga Korniejenko, **Michał Łach**, Mateusz Góra, Izabela Kurek, **Neslihan Doğan-Sağlamtimur**, Marek Hebda, Magdalena Szechyńska-Hebda // Materials – 2021, Vol. 14, Iss. 22, Spec. Iss., 24 s.
 8. Materials selection and tests for precise execution of foundry molds designed to geopolymer casts / Kinga Łopata, Kinga Korniejenko, **Brian Azzopardi, Michał Łach** // W: MATBUD'2020 – Scientific-Technical Conference: E-mobility, Sustainable Materials and Technologies / eds. Tomasz Tracz, Katarzyna Mróz, Tomasz Zdeb. – [S.l.]: EDP Sciences, 2020. – (MATEC Web of Conferences, ISSN 2261-236X; 322)
 9. The use of geopolymers for the disposal of asbestos-containing materials / **Michał Łach**, Katarzyna Lichočka, Maria Hebdowska-Krupa, **Wei-Ting Lin**, Kinga Korniejenko // W: MATBUD'2020 – Scientific-Technical Conference: E-mobility, Sustainable Materials and Technologies / eds. Tomasz Tracz, Katarzyna Mróz, Tomasz Zdeb. – [S.l.]: EDP Sciences, 2020. – (MATEC Web of Conferences, ISSN 2261-236X; 322)
 10. The influence of fibre pre-treatment on the mechanical properties of the geopolymer composites / Kinga Korniejenko, Beata Figiela, **Hana Šimonová, Barbara Kucharczyková, Martin Duarte Guigou, Michał Łach** // W: MATBUD'2020 – Scientific-Technical Conference: E-mobility, Sustainable Materials and Technologies / eds. Tomasz Tracz, Katarzyna Mróz, Tomasz Zdeb. – [S.l.]: EDP Sciences, 2020. – (MATEC Web of Conferences, ISSN 2261-236X; 322)
 11. The binding properties of cementitious materials using circulating fluidized bed co-fired fly ash and pulverised coal fly ash / **Wei-Ting Lin, An Cheng, Michał Łach**, Krzysztof Miernik, Kinga Korniejenko // W: MATBUD'2020 – Scientific-Technical Conference: E-mobility, Sustainable Materials and Technologies/ eds. Tomasz Tracz, Katarzyna Mróz, Tomasz Zdeb. – [S.l.]: EDP Sciences, 2020. – (MATEC Web of Conferences, ISSN 2261-236X; 322)
 12. The fly-ash based geopolymer composites as an innovative material for circular economy / **Michał Łach**, Agnieszka Grela, Barbara Kozub, Kinga Korniejenko, **Brian Azzopardi** // W: MATBUD'2020 – Scientific-Technical Conference: E-mobility, Sustainable Materials and Technologies / eds. Tomasz Tracz, Katarzyna Mróz, Tomasz Zdeb. – [S.l.]: EDP Sciences, 2020. – (MATEC Web of Conferences, ISSN 2261-236X; 322).

13. *Mechanical properties of short fiber-reinforced geopolymers made by casted and 3D printing methods: a comparative study* / Kinga Korniejenko, **Michał Łach**, **Shih-Yu Chou**, **Wei-Ting Lin**, **An Cheng**, Maria Hebdowska-Krupa, Szymon Gądek, Janusz Mikula // *Materials* – 2020, Vol. 13, Iss. 3, s. [1-11]. – doi: 10.3390/ma13030579. – ISSN 1996-1944; Ujednolicona lista MNiSW 2013-2016: A
14. *Alkali activation of waste clay bricks: influence of the silica modulus, SiO₂/Na₂O, H₂O/Na₂O molar ratio, and liquid/solid ratio* / **R. A. Gado**, Marek Hebda, **Michał Łach**, Janusz Mikula // *Materials* [online]. – 2020, Vol. 13, Iss. 2, Spec. Iss., s. [1-26]. – ISSN 1996-1944 Ujednolicona lista MNiSW 2013-2016: A; Ujednolicona punktacja MNiSW 2013-2016: 35.
15. *Circulation fluidized bed combustion fly ash as partial replacement of fine aggregates in roller compacted concrete* / **Wei-Ting Lin**, **Kae-Long Lin**, **Kailun Chen**, Kinga Korniejenko, Marek Hebda, **Michał Łach** // *Materials* – 2019, Vol. 12, Iss. 24, s. [1-15]. – Mat. konf.: The Seventh International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation 2018 (IMETI2018), Taoyuan, Taiwan, 2-6.11.2018. – doi: 10.3390/ma12244204. – ISSN 1996-1944 Ujednolicona lista MNiSW 2013-2016: A; Ujednolicona punktacja MNiSW 2013-2016: 35; typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
16. *Mechanical properties of geopolymer concretes reinforced with waste steel fibers* / **R. Gailitis**, **K. Korniejenko**, **M. Łach**, **J. Sliseris**, **J. Morán**, **E. Rodriguez**, J. Mikula // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* – 2019, Vol. 660, s. [1-8]. – Mat. konf.: 4th International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies (IMST 2019), Riga, Latvia, 25-27.09.2019. – doi: 10.1088/1757-899X/660/1/012007. – ISSN 1757-899X typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
17. *A comparative study of mechanical properties of fly ash-based geopolymer made by casted and 3D printing methods* / K. Korniejenko, **M. Łach**, **S. Y. Chou**, **W. T. Lin**, J. Mikula, D. Mierzwiński, **A. Cheng**, M. Hebda // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* – 2019, Vol. 660, s. [1-7]. – Mat. konf.: 4th International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies (IMST 2019), Riga, Latvia, 25-27.09.2019. – doi: 10.1088/1757-899X/660/1/012005. – ISSN 1757-899X; typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
18. *Fibre reinforced geopolymer composites - a review* / Kinga Korniejenko, **Michał Łach**, **Neslihan Doğan-Sağlamtimur**, **Gabriel Furtos**, Janusz Mikula // *W: 1st International Conference on Environment, Technology and Management (ICETEM), 27-29 June 2019, Niğde, Turkey: proceedings book/ ed. by İlyas Kacar; org. by Department of Environmental Engineering Niğde Ömer Halisdemir University. – Niğde: Niğde Ömer Halisdemir University, 2019. – S.3-13. – ISBN 978-975-8062-33-1; typ: materiały konferencyjne w książce*
19. *Possibilities of using the 3D printing process in the concrete and geopolymers application* / J. Marczyk, C. Ziejewska, M. **Łach**, **K. Korniejenko**, **W. T. Lin**, M. Hebda // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019, Vol. 706, s. [1-6]. – Mat. konf.: Development of Eco-Friendly Composite Materials Based on Geopolymer Matrix and Reinforced with Waste Fibers (FIBER), Montevideo,

- Uruguay, 28-29.11.2019. – doi: 10.1088/1757-899X/706/1/012019. – ISSN 1757-899X; typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
20. *Utilization of innovative system for coke oven wastewater treatment as an element of stabilization technology for post-process waste from municipal incineration plants* / D. Mierzwiński, **M. Łach**, J. Mikuła, **G. Furtos**, K. Korniejenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2019, Vol. 706, s. [1-8]. – Mat. konf.: Development of Eco-Friendly Composite Materials Based on Geopolymer Matrix and Reinforced with Waste Fibers (FIBER), Montevideo, Uruguay, 28-29.11.2019. – doi: 10.1088/1757-899X/706/1/012018. – ISSN 1757-899X; typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
21. *Fly ash as a raw material for geopolymerisation-mineralogical composition and morphology* / K. Korniejenko, **M. Łach**, J. Marczyk, C. Ziejewska, **NP. Halyag, G. Mucsi** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2019, Vol. 706, s. [1-8]. – Mat. konf.: Development of Eco-Friendly Composite Materials Based on Geopolymer Matrix and Reinforced with Waste Fibers (FIBER), Montevideo, Uruguay, 28-29.11.2019. – doi: 10.1088/1757-899X/706/1/012006. – ISSN 1757-899X; typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
22. *Characterization of geopolymer composites reinforced with plastic wastes* / Kinga Korniejenko, Janusz Mikuła, Michał **Łach**, **Florencia Moure, Lucía Moreira, Martín Duarte Guigou** // W: Proceedings of the International V4 Waste Recycling 21 Conference / ed. Ljudmilla Bokányi. – Miskolc: Miskolci Egyetem, 2018. – S. 229-238. – ISBN 978-963-358-173-5; typ: materiały konferencyjne w książce
23. *A comparative study of linen (flax) fibers as reinforcement of fly ash and clay brick powder based geopolymers* / **G. Silva, S. Kim, A. Castañeda, R. Donayre, J. Nakamatsu, R. Aguilar**, K. Korniejenko, **M. Łach**, J. Mikuła // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2018, Vol. 416, s. [1-8]. – Mat. konf.: 7th International Conference on Advanced Materials and Structures - AMS 2018, Timișoara, Romania, 28-31.03.2018. – doi:10.1088/1757-899X/416/1/012107. – ISSN 1757-8981 Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak; typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie
24. *Quasi-static mechanical characterization of lightweight fly ash-based geopolymer foams* / **E. Linul**, K. Korniejenko, **D.A. Șerban, R. Negru, L. Marsavina, M. Łach**, J. Mikuła // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2018, Vol. 416, s. [1-6]. – Mat. konf.: 7th International Conference on Advanced Materials and Structures -AMS 2018, Timișoara, Romania, 28-31.03.2018. – doi: 10.1088/1757-899X/416/1/012102. – ISSN 1757-8981 Publikacja indeksowana w bazie Scopus: tak; typ: materiały konferencyjne w czasopiśmie

Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych konferencji naukowych i seminariów:

1. Udział w komitecie organizacyjnym seminarium międzynarodowego: New, Eco-friendly Materials Based on Geopolimer Matrix for Applications in Construction Industry; Pontificia Universidad Catolica del **Peru, Lima**, 19-21 September 2017
2. Udział w komitecie organizacyjnym seminarium międzynarodowego: Development of eco-friendly composite materials based on geopolymer matrix and reinforced with waste fibers; Cracow University of Technology, 11-13 April 2017; **Seminarium z udziałem naukowców z: Egiptu, Argentyny, Peru, Urugwaju, Rumuni, Turcji, Łotwy**
3. Udział w komitecie naukowym międzynarodowej konferencji: FIBER- Development of eco-friendly composite materials based on geopolymer matrix and reinforced with waste fibers; 28-29.11.2019; **Uruguay, Montevideo**, Catholic University of Uruguay Damas Antonio Larrañaga
4. Udział w komitecie organizacyjnym konferencji międzynarodowej na Ukrainie: Сталий розвиток України, проблеми та шляхи їх подолання *Міжнародна науково-практична конференція (14-15.11.2019)*

Opieka nad naukowcami i doktorantami zagranicznymi odbywającymi staż w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Krakowskiej (wspólne wykonywanie badań):

- Reda Gado; 2017; Egipt; National Research Center (NRC), 12311 Dokki Cairo, Egypt
- Mona Sayed Ahmed; 2018; Egipt; National Research Center (NRC), 12311 Dokki Cairo, Egypt
- Wei-Ting Lin; 2019; National Ilan University; Tajwan
- Richards Gailitis, 2020; 2019; Riga Technical University; Łotwa
- Lucia Moreira; Florencia Moure; 2017; Catholic University of Uruguay Damas Antonio Larrañaga; Urugwaj

Aplikowanie jako kierownik i koordynator konsorcjum w międzynarodowych konkursach na finansowanie projektów badawczych (samodzielne stworzenie konsorcjum i wniosków projektowych):

- IX polsko-tajwański konkurs (konsorcjum: Polska, Tajwan)
- ERA-MIN 3 (konsorcjum: Polska, Czechy, Turcja, Rumunia, Włochy, Francja)
- IV konkurs polsko-turecki POLTUR 4 (konsorcjum: Polska, Turcja)

Inne działania nie wymienione wcześniej, potwierdzające współpracę zagraniczną:

1. Członek Editorial Board czasopisma: SN Applied Sciences (Springer Nature), sekcja: Chemistry/Materials
2. Aktywny recenzent- (wybraneczasopisma): Materials and Design (Elsevier), Composites Part B (Elsevier), Materials (MDPI), Applied Science (MDPI), IOP Publishing (Conference Series)

3. Redakcja naukowa monografii wydanej przez IOP Publishing jako materiały konferencyjne z konferencji:
4. Redaktor międzynarodowej monografii: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 706, Issue 1, 25 November 2019, International Conference on Development of Eco-Friendly Composite Materials Based on Geopolymer Matrix and Reinforced with Waste Fibers 2019, FIBER 2019; Montevideo; Uruguay; ISSN: 17578981, Wydawca: Institute of Physics Publishing, Volume Editors: Łach M.
5. Guest Editor- Special Issue in CRYSTALS (MDPI) „Characteristics of Raw Materials Used for Alkaline Activation and Geopolymerization Processes”. Zhaohui Li; Kinga Korniejenko; **Michał Łach**
6. Guest Editor - Special Issue in Recent Progress in Materials (LINDSEN) – “Mechanical Properties and Characterization of Geopolymer Composites”; Kinga Korniejenko, **Michał Łach**, Barbara Kozub
7. Guest Editor - Research Topic: Sustainable Geopolymer Composites, Frontiers in Built Environment (Frontiers); Kinga Korniejenko, Andina Sprince, Dariusz Mierzwiński, **Michał Łach**
8. Guest Editor - Special Issue in CRYSTALS (MDPI) - “Geopolymers” – **Michał Łach**, Kinga Korniejenko, Wei-Ting Lin, Neslihan Dogan-Saglamtimur

7. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

1. **Nagroda zespołowa Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za osiągnięcia dydaktyczne** 2015r. Janusz Mikula, Andrzej Sobczyk, Stanisław Kuciel, Piotr Kucybała, Janusz Pobędza, Waclaw Ptak, Artur Guzowski, **Michał Łach**; „Opracowanie innowacyjnych narzędzi mobilnych wspomagających proces kształcenia, w postaci zdalnie sterowanych stanowisk laboratoryjnych, oprogramowania dydaktycznego, nowatorskich materiałów dydaktycznych, w tym podręczników oraz programów studiów sformułowanych we współpracy z przemysłem i dopasowanych do potrzeb rynku pracy”

2. Promotor pomocniczy w 3 przewodach doktorskich (nie zakończonych – (Anna Stefańska – planowany termin obrony – luty 2022)):

- Michał Adamski: Uchwała Nr 86/1145/2016 Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej z dnia 7 grudnia 2016 roku; „Metody wytwarzania i właściwości geopolimerów na bazie odpadów poprocesowych i surowców naturalnych”;
- Anna Stefańska, Badanie skłonności do wykwitów na powierzchniach materiałów geopolimerowych i opracowanie metody ich zapobiegania; Uchwała Nr 124/1164/2018 Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej z dnia 12 grudnia 2018 roku (Przewód doktorski po recenzjach – na etapie ustalania terminu obrony)
- Krzysztof Fornagiel, Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, Uchwała Rady Wydziału z dnia 10 marca 2019

Działalność organizacyjna:

- Udział w Komitecie organizacyjnym seminarium: New, Eco-friendly Materials Based on Geopolymer Matrix for Applications in Construction Industry; Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 19-21 September 2017
- Opiekun Naukowy: Konferencja Młodych Naukowców: „Zagrożenia dla Środowiska”, 23.10.2016, Kraków, udział w pracach Komitetu Naukowego
- Opiekun Naukowy: Konferencja Młodych Naukowców: „Wpływ Młodych Naukowców na Osiągnięcia Polskiej Nauki X Edycja”, 14.01.2017, Kraków, udział w pracach Komitetu Naukowego
- Opiekun Naukowy: Konferencja Młodych Naukowców: „Dokonania Naukowe Doktorantów – V Edycja”, 22.04.2017, Kraków, udział w pracach Komitetu Naukowego
- 2015 r. Udział w Komitecie naukowym i organizacja seminarium pod patronatem Rektora Politechniki Krakowskiej pt. „Rozwiązania proekologiczne w zakresie produkcji” odbywającym w Instytucie Inżynierii Materiałowej.
- Udział w Komitecie organizacyjnym seminarium: Development of eco-friendly composite materials based on geopolymer matrix and reinforced with waste fibers; Cracow University of Technology, 11-13 April 2017
- Udział w Komitecie naukowym międzynarodowej konferencji: FIBER - Development of eco-friendly composite materials based on geopolymer matrix and reinforced with waste fibers; 28-29.11.2019; Uruguay, Montevideo, Catholic University of Uruguay Damas Antonio Larrañaga
- Udział w Komitecie organizacyjnym konferencji międzynarodowej na Ukrainie: Сталий розвиток України, проблематя шлях її подолання Міжнародна науково-практична конференція (14-15.11.2019)

Opieka nad wyróżnionymi lub nagrodzonymi pracami studentów, doktorantów:

1. Opieka nad wyróżnioną pracą w ramach seminarium pod patronatem Rektora Politechniki Krakowskiej „Rozwiązania proekologiczne w zakresie produkcji”. Temat pracy: „Porównanie zapotrzebowania na energię i emisji CO₂ betonów tradycyjnych na bazie cementu portlandzkiego z alkalicznie aktywowanymi spoiwami”. 2015. Autorzy: Marcelina Gąsiorek, Cecylia Kokot, Marcelina Czosnyka, Aneta Bartnik
2. Opieka nad wyróżnioną pracą w ramach seminarium pod patronatem Rektora Politechniki Krakowskiej „Rozwiązania proekologiczne w zakresie produkcji”. Temat pracy: „Korzyści dla środowiska wynikające z zagospodarowania ubocznych produktów spalania węgla”. 2015; Autorzy: Bartłomiej Micek, Kamil Chmielarz
3. Opieka nad nagrodzoną pracą w ramach seminarium pod patronatem Rektora Politechniki Krakowskiej „Rozwiązania proekologiczne w zakresie produkcji”. Temat pracy: „Analiza metod utylizacji zużytych opon i gumy. Wybór najlepszej metody pod względem korzyści dla środowiska naturalnego”. 2015; Autorzy: Celina Tempka, Justyna Wajs

4. Opiekun seminariów i warsztatów naukowych z zakresu rozwiązań proekologicznych w zakresie produkcji w ramach projektu „Inżynieria materiałowa – inżynieria przyszłości”

5. Opiekun praktyk studenckich: fakultatywne praktyki studenckie w ramach projektu „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej”

6. Opiekun seminariów i warsztatów naukowych odbywających się w:

- EDF Kraków
- Oczyszczalnia ścieków Kujawy
- Oczyszczalnia ścieków Płaszów

W ramach projektu „MBM - kierunek zamawiany”

Aktywny udział w projektach dydaktycznych (wykonawca):

1. UDAPOKL.04.01.02-00-047/12-00, „Inżynieria materiałowa - inżynieria z przyszłością wykonawca NCBiR, kierunki zamawiane

2. UDAPOKL.04.01.01-00-245/11-00, „PIT Mobilne studia podyplomowe we współpracy z Przemysłem”, wykonawca NCBiR (PO KL)

3. POKL.04.01.01-00-288/09-00, „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, POKL, wykonawca

4. POKL.04.01.02-00-048/12-00, „Mechanika i budowa maszyn -kierunek zamawiany”, POKL, Wykonawca

5. POWR.03.01.00-IP.08-00-3MU/18; „Jestem Za Wiedzą”, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki; wykonawca

6. MOOC; Praktyczne aspekty projektowania obiektów budowlanych w świetle standardów Europejskich; POWR.03.01.00-00-W016/18-00; wykonawca

7. KATAMARAN – Przygotowanie i realizacja wspólnych studiów II stopnia. PPI/KAT/2019/1/00021/DEC/01; wykonawca

8. „REG – region uczący się” jest finansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój nr umowy POWR.03.05.00-00-ZR28/18, wykonawca

Opieka nad studentami realizującymi prace naukowe w Instytucie Inżynierii

Materiałowej Politechniki Krakowskiej:

1. Promotorstwo prac magisterskich: 15

2. Promotorstwo prac inżynierskich: 16

3. Kilkadziesiąt recenzji prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich

Działania w zakresie popularyzacji nauki:

1. Małopolska Noc Naukowców. 2014 - 2017. Przygotowanie warsztatów z zakresu inżynierii materiałowej.

2. Festiwal Nauki w Krakowie. 2013 - 2018. Przygotowanie i prowadzenie pokazów z zakresu inżynierii materiałowej

Główny opiekun i jeden z twórców programu studiów na specjalności: „Technologie i materiały przyjazne środowisku”. Współautor kart przedmiotów dla 9 nowo utworzonych przedmiotów (od 2019).

8. Inne informacje, dotyczące kariery zawodowej. Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową albo artystyczną

1. Nagroda Rektora Politechniki Krakowskiej za działalność naukową, zespołowa, 2019
2. Nagroda dla wyróżniających się pracowników PK; tzw. „LIDER” za osiągnięcia naukowe w latach 2020-2021
3. Kilkukrotnie przyznawana „Premia za aktywność” na Politechnice Krakowskiej – (za dodatkowe działania związane z nauką i B+R)

Inne istotne informacje:

- Członek Rektorskiej Komisji Dyscyplinarnej ds. Nauczycieli Akademickich w kadencji 2020-2024
- Członek Komisji Regulaminowej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki, Politechnika Krakowska od 12.2019
- Członek Kolegium Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki, Politechnika Krakowska od 10.2019-2021
- Opiekun specjalności: Materiały i technologie przyjazne środowisku

Dodatkowe szkolenia

- Szkolenie z zakresu obsługi analizatora sorpcji fizycznej Quantachrome AutosorbiQ-MP
- Szkolenie z zakresu obsługi kamery termowizyjnej FLIR E95 oraz oprogramowania FLIR Tools+
- Naukowiec + Przedsiębiorca = Sukces - wspólne projekty B+R; CTT PK
- „Społeczne skutki korupcji”; Platforma szkoleniowa Centralnego Biura Antykorupcyjnego
- „Korupcja w administracji publicznej”; Platforma szkoleniowa Centralnego Biura Antykorupcyjnego
- „Korupcja w biznesie”; Platforma szkoleniowa Centralnego Biura Antykorupcyjnego
- „Scenariusz szkolenia e-learning”; Akademia PARP
- „Podstawy e-learningu dla firm szkoleniowych”; Akademia PARP
- „Planowanie projektu dofinansowanego z funduszy UE”; Akademia PARP
- Przykłady Komercjalizacji w modelu spin off/out; Politechnika Krakowska

- „Czy projektem badawczym da się zarządzać?”; Politechnika Krakowska
- „Procedury upowszechniania wyników badań naukowych”
- „O uczeniu i uczeniu się”; Akademia PARP
- Umiejętności interpersonalne; Akademia PARP
- „Blended learning”; Akademia PARP
- „Organizowanie pracy zgodnie z zasadami ergonomii”; Akademia PARP
- „Tworzenie efektywnych szkoleń e-learning”; Akademia PARP
- „Podstawy e-learningu dla firm szkoleniowych”; Akademia PARP
- „Wizyta naukowców w Krakowskim Parku Technologicznym”
- „Korzyści firmy z ochrony środowiska”; Akademia PARP
- „Trudne tematy w miejscu pracy”; Akademia PARP
- „Savoir-vivre w biznesie”; Akademia PARP
- „Jak rozwinąć swój talent?”; Akademia PARP
- „Podstawy sporządzania biznesplanu”; Akademia PARP
- „Klient w zarządzaniu jakością”; Akademia PARP
- „Podstawy planowania finansowego”; Akademia PARP
- „Mentor w szkoleniu e-learning”; Akademia PARP
- „Umiejętności indywidualne – jak znaleźć w sobie motywację?”; Akademia PARP
- „Wdrożenie e-learningu w organizacji”; Akademia PARP
- „Nawiązywanie kontaktów”; Akademia PARP
- „Kluczowe momenty w negocjacjach”; Akademia PARP
- „Zarządzanie zmianą”; Akademia PARP
- „Oferta w postępowaniu publicznym”; Akademia PARP
- „Zarządzanie przez delegowanie”; Akademia PARP
- Szkolenie w ramach projektu „Zarządzanie z przyszłością” dotyczące Krajowych Ram Kwalifikacji oraz jakości i efektów kształcenia

Udział w seminariach i warsztatach (wybrane):

- Udział w warsztatach „Odpady poprocesowe”; Kraków KHK 10 kwietnia 2018 roku
- Udział w konferencji, seminarium: Gospodarka o obiegu zamkniętym – racjonalne gospodarowanie zasobami; 18–19 września 2018, Muzeum Armii Krajowej w Krakowie, ul. Wita Stwosza 12
- Udział w seminarium: Co-processing paliw alternatywnych w cementowniach 7 października 2015 r; Kraków

.....
(podpis wnioskodawcy)