

Autoreferat

**o osiągnięciach w działalności naukowo-badawczej,
dydaktycznej i organizacyjnej**

Rzeszów 2026

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571)	4
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.	36
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.	37
7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.....	40

1. Imię i nazwisko

Agnieszka Pękala

ORCID: 0000-0001-5011-3060

Scopus: 56237367000

Web of Science: ABY-6817-2022

PBN: 5e7092d0878c28a04739d5ab

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- | | |
|----------------------------|---|
| Doktorat | 22.03.2010 r. |
| Studia III stopnia | Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
doktor nauk o Ziemi
Dyscyplina: geologia
Specjalność: mineralogia, petrografia i geochemia
Rozprawa doktorska pt. „ <i>Studium mineralogiczno – petrograficzne utworów ze strefy kontaktu trzeciorzęd – mezozoik w złożu węgla brunatnego Belchatów</i> ”.
Promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Ratajczak
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Barbara Kwiecińska AGH Kraków, dr hab. Magdalena Sikorska – Jaworowska prof. nadz. PIG- PIB Warszawa |
| Studia magisterskie | 27.06.2002 r.
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
magister inżynier
Kierunek: inżynieria środowiska
Specjalność: geologia złóż i geochemia
Praca magisterska pt. „ <i>Oddziaływanie inwestycji przemysłowych na stan środowiska Przemyśla i okolic w oparciu o badanie gleb i roślin</i> ”.
Promotor: dr inż. Tadeusz Tarkowski
Recenzent: prof. dr hab. inż. Tadeusz Ratajczak |
| Studia pedagogiczne | 10.06.2006 r.
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Nauk Społecznych i Stosowanych
Studia przygotowania pedagogicznego dla absolwentów szkół wyższych.
03.09.2007 r.
Akt nadania stopnia awansu zawodowego nauczyciela kontraktowego. |

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

01.06.2019 – obecnie	Adiunkt w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, Dyscypliny: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka; Inżynieria Lądowa i Transport.
01.07.2010 – 30.05.2019	Adiunkt w Katedrze Geodezji i Geotechniki im. K. Weigla, Politechnika Rzeszowska.
01.09.2009 – 30.06.2010	Asystent w Zakładzie Geotechniki i Hydrotechniki, Politechnika Rzeszowska.
01.10.2002 – 31.09.2008	Praca naukowo – dydaktyczna w Katedrze Mineralogii, Petrografii i Geochemii, AGH Kraków.
01.09.2006 – 31.08.2007	Nauczyciel w Technikum Kształtowania Środowiska w ZSZ PGNIG Kraków.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571)

4.1. Dziedzina i dyscyplina

☞ **Dziedzina** *Nauki inżynieryjno-techniczne*

☞ **Dyscyplina** *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka*

4.2. Tytuł głównego osiągnięcia naukowego i wykaz publikacji powiązanych tematycznie

Jako osiągnięcia naukowe, wynikające z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571), stanowiące wkład w rozwój dyscypliny naukowej *Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* oraz podstawę do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, wskazuję 2 cykle publikacyjne powiązane tematycznie:

- I. Cykl 6 publikacji pod tytułem „*Identyfikacja i modelowanie mechanizmów oddziaływania zanieczyszczeń geantropogenicznych na korozyjność obiektów inżynierskich*”.
- II. Cykl 4 publikacji i patentu, pod tytułem „*Wykorzystanie surowców mineralnych i odpadowych w innowacyjnych technologiach przemysłowych*”.

I. Identyfikacja i modelowanie mechanizmów oddziaływania zanieczyszczeń geoantropogenicznych na korozyjność obiektów inżynierskich

Osiągnięcie naukowe ujmuje trzy problemy badawcze, w tym:⁽ⁱ⁾ identyfikację wtórnych procesów mineralizacyjnych w surowcach skalnych jako potencjalnych źródeł zanieczyszczeń geoantropogenicznych oraz ocenę zależności koncentracji pierwiastków śladowych z nimi związanych (C1-C3),⁽ⁱⁱ⁾ opracowanie koncepcji modeli statystycznych wymywalności dla wybranych pierwiastków śladowych z surowców skalnych oraz interakcji geochemicznych w zmineralizowanej matrycy skalnej (C1,C4),⁽ⁱⁱⁱ⁾ wykorzystanie metod petrograficznych w ocenie wpływu wtórnych procesów mineralizacyjnych na korozyjność obiektów inżynierskich (C5,C6).

[C1] **Pękala, A.**, Musiał, M., Galek, T. (2022). Pyritization in stone-building materials modeling of geochemical interaction. *Sustainability*, 14, 13206.

- Liczba punktów MNiSW: 100
- Impact factor: **3,9** (IF₂₀₂₂), **3,6** (IF_{5letni})
- Cite Score₂₀₂₂: 5,8
- Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.

[C2] **Pękala, A.**, (2020). Silification of the mesozoic rocks accompanying the Bełchatów lignite deposit, central Poland. *Geosciences*, 10, 141.

- Liczba punktów MNiSW: 70
- Impact factor: 0 (IF₂₀₂₀), **2,5** (IF_{5letni})
- Cite Score₂₀₂₀: 3,4
- Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.

[C3] **Pękala, A.**, Koszelnik, P., Musiał, M., Galek, T. (2024). Trace elements anomalous concentrations in building materials - the impact of secondary mineralisation processes. *Materials* 17 (16), 3909.

- Liczba punktów MNiSW: 140
- Impact factor: **3,2** (IF₂₀₂₄), **3,5** (IF_{5letni})
- Cite Score₂₀₂₄: 6,4
- Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.

- [C4] **Pękala, A.**, Musiał, M., (2021). Modeling the leachability of strontium and barium from stone building materials. *Materials*, 14, 3403.
- Liczba punktów MNiSW: 140
 - Impact factor: **3,748** (IF₂₀₂₁), **3,5** (IF_{5letni})
 - Cite Score ₂₀₂₁: 4,7
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.
- [C5] **Pękala, A.**, Pietrucha – Urbanik K., (2018). The influence of the soil environment on the corrosivity of failure infrastructure-case study of the exemplary water network. *Archives of Civil Engineering*, 64 (1).
- Liczba punktów MNiSW: 15
 - Impact factor: **0** (IF₂₀₁₈), **1** (IF_{5letni})
 - Cite Score₂₀₁₈: 1,6
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania
- [C6] **Pękala, A.**, Vilcekova, S., (2024). Secondary mineralization processes in the assessment of alkaline reactivity of aggregates and durability of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e04113.
- Liczba punktów MNiSW: 100
 - Impact factor: **6,6** (IF₂₀₂₄), **6,7** (IF_{5letni})
 - Cite Score ₂₀₂₄: 9,7
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.

📄 **Sumaryczny Impact Factor I cyklu publikacji**

- IF - 17,448
- IF_{5letni} - 20,8

📄 **Liczba punktów MNiSW I cyklu publikacji**

565

Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zamieszczono w **Załączniku 5**. Oświadczenia współautorów publikacji zaliczonych do osiągnięcia naukowego wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie zawiera **Załącznik 6**.

II. Wykorzystanie surowców mineralnych i odpadowych w innowacyjnych technologiach przemysłowych

Osiągnięcie naukowe obejmuje dwa obszary naukowe dotyczące możliwości wykorzystania surowców mineralnych i odpadowych jako kompozytów magazynujących ciepło, zawierających organiczny materiał zmiennofazowy oraz w technologii oczyszczania ścieków.

- [C7] **Pękala, A.**, Musiał, M., Lichołai, L., (2025). Carpathian diatomites and their applications in phase - change composites. *Materials*, 18, 2097.
- Liczba punktów MNiSW: 140,
 - *Impact factor*: **3,2** (IF₂₀₂₅), **3,5** (IF_{5letni})
 - *Cite Score* 2025:6,4
 - *Opis wkładu własnego*: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu.
- [C8] Musiał, M., Lichołai, L., **Pękala, A.**, (2023). Analysis of the thermal performance of isothermal composite heat accumulators containing organic phase-change material. *Energies*, 1/31, 16, 1409
- Liczba punktów MNiSW: 140,
 - *Impact factor*: **3,0** (IF₂₀₂₃), **3,1** (IF_{5letni})
 - *Cite Score* 2023:7,3
 - *Opis wkładu własnego*: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu.
- [C9] Musiał, M., **Pękala, A.** (2022). Functioning of heat accumulating composites of carbon recycle and phase change material. *Materials*, 15, 2331.
- Liczba punktów MNiSW: 140,
 - *Impact factor*: **3,4** (IF₂₀₂₂), **3,5** (IF_{5letni})
 - *Cite Score* 2022:6,4
 - *Opis wkładu własnego*: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu.
- [C10] Musiał, M., **Pękala, A.**, pt.: *Sposób nasączania materiału porowatego co najmniej jedną substancją zmiennofazową oraz stanowisko do realizacji tego sposobu*. P.246493. Data przyznania: 04.02.2025 r. – **patent**
- Liczba punktów MNiSW:75, (udział 50%)

- [C11] Gubernat, S., Czarnota, J., Masłoń, A., Koszelnik, P., **Pękala, A.**, Skwarczyńska-Wojśa, A. (2023). Efficiency of phosphorus removal and recovery from wastewater using marl and travertine and their thermally treated forms. *Journal of Water Process Engineering*, 7/1, 53, 103642
- Liczba punktów MNiSW: 100,
 - *Impact factor*: **6,3** (IF₂₀₂₃), **6,7** (IF_{5letni})
 - *Cite Score* 2023: 9,6
 - *Opis wkładu własnego*: konceptualizacja założeń i metodologia pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji.

📄 ***Sumaryczny Impact Factor II cyklu publikacji***

- IF – 15,9
- IF_{5letni} – 16,8

📄 ***Liczba punktów MNiSW osiągnięcia II cyklu publikacji i patentu***

- 595

Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zamieszczono w **Załączniku 5**. Oświadczenia współautorów publikacji zaliczonych do osiągnięcia naukowego wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie zawiera **Załącznik 6**.

📄 ***Sumaryczny Impact Factor w osiągnięciach naukowych***

- IF – 33,348
- IF_{5letni} – 37,6

📄 ***Liczba punktów MNiSW w osiągnięciach naukowych***

- 1160

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników.

I. Identyfikacja i modelowanie mechanizmów oddziaływania zanieczyszczeń geoantropogenicznych na korozyjność obiektów inżynierskich

Wprowadzenie i uzasadnienie prowadzonych badań

Zanieczyszczenia geoantropogeniczne powstają w wyniku eksploatacji i przeróbki abiotycznych zasobów naturalnych i są ściśle związane z przeróbką skał i minerałów. Zmineralizowane formacje skalne, mogą być źródłem anomalnych nagromadzeń substancji szkodliwych dla środowiska określanych mianem geotoksyn, czyli naturalnych substancji toksycznych [^{1,2}].

W wyniku odsłonięcia partii złoża lub formacji skalnych zmineralizowanych, osuszenia torfowisk zawierających pierwiastki promieniotwórcze, pierwiastki śladowe lub węglowodory, jak również na skutek złożonych reakcji chemicznych wywołanych zrzutami ścieków, składowaniem odpadowych surowców mineralnych czy emisji pyłów atmosferycznych, może dochodzić do uaktywniania się zanieczyszczeń geoantropogenicznych. Zanieczyszczenia te mogą mieć charakter zarówno punktowy, jak i obszarowy.

Do punktowych źródeł zanieczyszczeń geoantropogenicznych zalicza się m.in.:

- wyrobiska powierzchniowe i podziemne,
- miejsca składowania urobku skalnego (hałdy górnicze),
- hałdy odpadów pogórnich i technologicznych, osadniki mineralne,
- składowiska odpadów stałych, ścieków lub materiałów radioaktywnych,
- osadniki poflotacyjne rud siarczków metali lub odpadów powstałych z przemycia kruszyw zawierających piryt,
- surowce skalne wykorzystywane w technologiach środowiskowych oraz w konstrukcjach inżynierskich.

Do obszarowych źródeł zanieczyszczeń należą natomiast:

- odpływy wód ze zmineralizowanych formacji skalnych oraz ze złóż rud siarczków metali i węgla,
- osuszanie torfowisk, bagnisk i terenów podmokłych o podwyższonej zawartości metali i pierwiastków promieniotwórczych,
- spalanie paliw kopalnych.

Wymienione źródła zwiększają prawdopodobieństwo masowego uwalniania licznych pierwiastków śladowych, potencjalnie toksycznych dla środowiska. W ramach badań powinno ustalać się ich ilość oraz geodostępność pierwiastków śladowych w matrycy skalnej, których stopień uaktywnienia jest ściśle związany ze składem mineralnym, strukturalnym, teksturalnym i chemicznym oraz odpornością na wietrzenie badanego materiału skalnego w funkcji czasu. Wpływ czynników zewnętrznych, a w szczególności środowiska wodnego (opady, agresywne

¹ Z. M. Migaszewski, A. Gałuszka” Geochemia środowiska”. PWN, Warszawa 2017

² Z. M. Migaszewski, A. Gałuszka” Podstawy geochemii środowiska”. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2007

wody gruntowe i inne agresywne płyny), może prowadzić do uwolnienia dodatkowych ilości składników pierwotnie związanych ze strukturą materiału. Związki krystalizującej matrycy materiałowej mogą poważnie wpłynąć na zmienny charakter jej właściwości. Rozpoznanie tych mechanizmów oraz zrozumienie procesów zmierzających do mineralizacji w obrębie skalnej matrycy materiałowej stanowi istotne uzasadnienie prowadzenia badań w obszarze inżynierii środowiska.

Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi wymaga przeprowadzenia badań w zakresie prognozy ich zastawania oraz identyfikacji ewentualnych substancji geotoksycznych uwalnianych z formacji skalnych do środowiska, niekiedy przyspieszonych działalnością człowieka. Identyfikacja zanieczyszczeń geoantropogenicznych wywołanych wtórną krystalizacją związków mineralnych w surowcach skalnych jest dotychczas mało rozpoznana. Może to wynikać z braku świadomości zagrożenia i braku regulacji prawnych zarówno w Polsce, jak i Unii Europejskiej w zakresie monitorowania jakości surowców skalnych. W dotychczas obowiązujących obwieszczeniach Ministra Zdrowia (Dz. U. 2020 poz. 1139) stawia się wymóg, z punktu widzenia ochrony radiologicznej, monitorowania naturalnych nuklidów promieniotwórczych w skałach przed ich użyciem w materiałach budowlanych mieszkalnych i komercyjnych. W ramach zintegrowanego systemu ochrony środowiska oraz oceny ekologicznej materiałów, na każdym etapie cyklu życia produktu – tj. wydobycia surowca, jego transportu, przeróbki oraz późniejszego wykorzystania i zagospodarowania – wymaga się prowadzenia działań w kierunku ograniczenia lub całkowitego wyeliminowania produktów zawierających substancje szkodliwe dla środowiska. Nie tylko kompozyty oparte na szkodliwych materiałach muszą być testowane, ale również materiały pochodzenia naturalnego, co uzasadnia prowadzenie badań w tym zakresie.

Przeprowadzone badania oraz ocena wpływu wtórnych procesów mineralizacyjnych na ośrodek gruntowo-skalny mają na celu ograniczenie emisji zanieczyszczeń geoantropogenicznych oraz minimalizowanie obecności w ekosystemach składników szkodliwych dla środowiska. Metody zaproponowane w cyklu badawczym, pozwalają ocenić korozyjność ośrodka gruntowo-skalnego, co umożliwi przewidywanie procesów korozyjnych w obiektach inżynierskich i planowanie działań ochronnych przed degradacją konstrukcji.

Obecnie w literaturze nie ma pełnej wiedzy na temat znaczenia oddziaływania zanieczyszczeń geoantropogenicznych na korozyjność obiektów inżynierskich, co skutkuje istotną potrzebą prowadzenia badań w tym obszarze. Niedostateczne zrozumienie tych zależności ogranicza możliwość przewidywania degradacji konstrukcji oraz skutecznego planowania działań ochronnych. W związku z tym, istnieje wyraźna potrzeba prowadzenia kompleksowych badań, które pozwolą ocenić mechanizmy oddziaływania zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego na ośrodek gruntowo-skalny i materiały konstrukcyjne.

Cel badań

Celami naukowymi przeprowadzonych prac badawczych, których wyniki przedstawiono w cyklu publikacji, była:

- ☐ identyfikacja w surowcach skalnych wtórnych procesów mineralizacyjnych jakimi zostały one objęte,
- ☐ ustalenie zależności pomiędzy koncentracją pierwiastków śladowych a wtórnymi procesami mineralizacyjnymi,
- ☐ opracowanie koncepcji statystycznych modeli: dynamiki uwalniania wybranych pierwiastków śladowych z badanych materiałów oraz ich rozkładu przestrzennego,
- ☐ ocena oddziaływania wtórnych procesów mineralizacyjnych na korozyjność materiałów i obiektów inżynierskich.

Omówienie osiągniętych wyników

Realizację celów naukowych przeprowadzono w ramach trzech obszarów badawczych. Analizowany materiał skalny pochodził ze strefy kontaktu mezozoik–neogen złoża węgla brunatnego Bełchatów, z regionu Karpat fliszowych oraz z obszaru Wyżyny Lubelskiej. Surowce te, deponowane w postaci hałd, mogą stanowić istotne źródło czynników sprzyjających korozji, wynikających z emisji zanieczyszczeń geoantropogenicznych, w tym migracji pierwiastków potencjalnie toksycznych do gleb i wód podziemnych, a następnie ich oddziaływania na materiały konstrukcyjne i infrastrukturę techniczną. Prawdłowo przeprowadzona identyfikacja właściwości fizykochemicznych badanych materiałów ma istotne znaczenie zarówno w aspekcie ekonomicznym, umożliwiając ograniczenie ilości odpadów kierowanych na składowiska oraz redukcję kosztów ich magazynowania, jak i w aspekcie środowiskowym, poprzez ograniczenie procesów degradacji korozyjnej, ochronę zasobów naturalnych, minimalizację presji na środowisko oraz zmniejszenie powierzchni zajmowanej przez hałdy i tereny po górnicze.

Pierwszy etap badań pozwolił zidentyfikować wtórne procesy mineralizacyjne w surowcach skalnych, takie jak: pirytyzacja, sylifikacja i sulfatyzacja. Analizy objęły zarówno pierwotne właściwości mineralogiczne i geochemiczne surowców, jak i zmiany wtórne, które mogły zachodzić w wyniku procesów geochemicznych lub antropogenicznych. Badania te pozwoliły określić potencjalne źródła zanieczyszczeń oraz zrozumieć mechanizmy, w wyniku których pierwiastki śladowe i inne składniki mogą ulegać mobilizacji.

Przedstawione wyniki opisano i udokumentowano w publikacjach [Załącznik 4, Kod: C1-C3]

Proces **pirytyzacji** został zidentyfikowany w węglanowych surowcach skalnych z Bełchatowa, jak i w piaskowcach karpackich. Badania koncentrowały się na analizie arenitu sublitycznego objętego procesem mineralizacji siarczkowej. Analizy przeprowadzono w czterech obszarach matrycy skalnej i obejmowały one szkielet ziarnowy oraz spoiwo w bezpośrednim kontakcie z krzemionką. W arenicie sublitycznym, spoiwo w postaci siarczków żelaza przyjmowało formę masywnej masy wypełniającej. Badania miały na celu identyfikację ewentualnych zmienności w koncentracji pierwiastków, ze szczególnym uwzględnieniem

kontaktu pomiędzy fazą krzemionkową a zmineralizowaną. Analiza współczynników korelacji liniowej wskazała, że zawartość Si jest słabo skorelowana z takimi metalami/biokatalizatorami jak: Cu, Zn, Cd. Natomiast wysoki współczynnik korelacji zaobserwowano między Si a Al ($r = 0,64$). Z kolei, współczynniki korelacji Si – S oraz Si – Fe wyniosły $r = -0,97$, co wskazuje na bardzo silną, odwrotnie proporcjonalną zależność. Z wstępnych obserwacji można wnioskować o powinowactwie geochemicznym pomiędzy strefą zmineralizowaną, a koncentracją pierwiastków śladowych. Oznacza to, że wzrost zawartości Si w badanym materiale wiąże się ze spadkiem stężenia Fe i S. Rekrystalizacja siarczków żelaza w badanym materiale doprowadza do całkowitego zabudowania wolnych porów oraz systemów spękań i mikroszczelin, co ma wpływ na redukcję porowatości. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem zawartości siarki pirytovej rośnie stężenie Cu, Zn, Cd. Większa koncentracja pierwiastków szkodliwych w siarczkach niż w skałach macierzystych wynika z możliwości akumulacji tych metali podczas wzrostu pirytu. Ważną rolę zmniejszającą negatywny efekt wietrzenia pirytu odgrywają minerały towarzyszące i skały macierzyste o właściwościach buforujących. W zaistniałym przypadku wykazano zależność odwrotnie proporcjonalną pomiędzy krzemionką a siarczkami żelaza. Odporny na wietrzenie kwarc, przy braku innych minerałów siarczkowych i składników buforujących może pełnić rolę naturalnej strefy buforowej. Ponadto, stwierdzono, że formy siarczków w badanych piaskowcach mają charakter masywny i grubokrystaliczny. Cechy te będą opóźniały proces wietrzenia strefy zmineralizowanej i zmniejszały negatywne skutki oddziaływania siarczków żelaza na środowisko naturalne. Proces mineralizacji siarczkowej jest bardzo ważny z punktu widzenia ochrony środowiska. Skutki degradacji środowiska wywołane wietrzeniem pirytu są porównywalne z efektami wywołanymi przez „kwaśne deszcze” i źródła antropogeniczne. Proces ten zachodzi nie tylko na obszarach górniczych. Formacje skalne zawierające w głównej mierze pirit i pozbawione naturalnych składników buforujących, w wyniku jego utleniania stanowią często źródło kwaśnych wód (H_2SO_4).

Proces sylikacji został zidentyfikowany w utworach ze strefy kontaktu mezozoik-neogen w złożu Bełchatów, w stropowych partiach osadów jurajskich i kredowych z nadległymi neogeńskimi łożami. Skały mezozoicznego podłoża, w których proces ten był najbardziej zauważalny i znaczący, były reprezentowane przez wapienie wieku jurajskiego oraz margle i opoki kredowe. W surowcach tych proces wzbogacania skał w krzemionkę następował poprzez wypełnienie porów i pustek krasowych, pęknięć oraz szczelin kompakcyjnych. W wapieniach i marglach mineralizacja krzemionkowa występowała w formie kongrecji, tworząc krzemienie o charakterze wczesnodiagenetycznym, rzadziej epigenetycznym. Krzemionka w opokach i wapieniach zastępowała minerały węglanowe w szczątkach organicznych. Spotykano również skały, w których krzemionka wypierała pierwotnie węglanowe tło skalne, zacierając pierwotny charakter strukturalno-teksturalny skały. Przeprowadzone analizy rentgenograficzne wykazały, że miejsca objęte sylikacją są związane z obecnością częściowo uporządkowanych odmian opalu – CT (krystobalitowo-trydymitowego) względem opalu – C (krystobalitu). Zaobserwowano, że ta faza mineralna często wykazywała powinowactwo do minerałów z grupy smektytu. Przeprowadzone analizy katodoluminescencyjne wykazały w badanych utworach obecność różnych generacji krzemionki. Najstarszą generację krzemionki stanowił kwarc o luminescencji brunatnej. W obrazie CL (katodoluminescencji), chalcedon budujący głównie igły gąbek, nie wykazywał

luminescencji. Opal o luminescencji niebieskiej obserwowano w bioklastach. Krzemionka o luminescencji różowo-niebieskiej stanowiła tło skalne opok wskazując na opalowy charakter typu CT i stanowiła najmłodszą generację krzemionki związanej najprawdopodobniej z oddziaływaniem roztworów hydrotermalnych. W obserwowanym tle skalnym, widoczny był przenikający pierwotny cement kalcytowy o luminescencji czerwonej. Generacja spoiwa o charakterze krzemionkowo – węglanowym, związana z wypieraniem węglanów przez krzemionkę wskazuje na etap synsedymantacyjno-wczesno diagenetyczny. Obserwacje w CL pozwoliły ponadto na ujawnienie wcześniej niewidocznych w obrazie mikroskopowym pierwotnych składników skalnych. Były to głównie węglanowe, zrekrystalizowane bioklasty oraz skalenie. Relikty skaleni o żółto pomarańczowej barwie w CL zostały całkowicie zastąpione krzemionką. Geneza sylikfikacji skał położonych na kontakcie ery mezozoicznej i kenozoicznej wiąże się z uruchomieniem krzemionki z otaczających skał lub z oddziaływaniem roztworów bogatych w SiO_2 . Na intensywność procesu sylikfikacji miało niewątpliwie wpływ oddziaływanie nadległej serii burowęglowej. Z racji serii burowęglowej, migrujące w dolne partie górotworu roztwory były bogate w CO_2 , F, B, Li, Na i Ba i powodowały wieloetapowe przemiany w skałach niżej ległych. Przy utlenieniu materii organicznej wytworzony dwutlenek węgla obniżał pH, powodując jednocześnie rozpuszczanie węglanu wapnia i wytrącanie krzemionki. Pewne ilości krzemionki mogły także pochodzić z transformacji i rozpuszczania materiału terygenicznego, głównie ziarn skaleni i krzemionkowych szczątków organicznych. Źródłem krzemionki mogły być również wody meteoryczne. W paleogenie miała bowiem miejsce przerwa sedymentacyjna. Skały mezozoiczne w tym również osady górnej kredy badanego rejonu podlegały wówczas intensywnej peneplenizacji. O intensywności procesów sylikfikacyjnych zachodzących w badanej strefie mogą świadczyć skupienia opalu. Powstawał on przez bezpośrednie wytrącenie z roztworu wodnego w szczelinach lub jest wynikiem rekrystalizacji wcześniej w niej utworzonego, amorficznego opalu A. Precypitacji bezpostaciowej krzemionki (opalu) sprzyja gwałtowny spadek temperatury i ciśnienia na powierzchni litosfery.

Przeprowadzone badania wykazały, że zawartość różnorodnych odmian polimorficznych krzemionki niejednokrotnie warunkuje cechy geomechaniczne skał. Praktyczne zastosowania badanych skał uzależnione jest od ilości, a w szczególności od charakteru fazowego obecnych w nich minerałów z grupy SiO_2 . Stwierdzono, że w wyniku transformacji krzemionkowych faz mineralnych w skale, dochodzi do zmian jej cech fizyko-mechanicznych. Wraz ze wzrostem współczynnika krystaliczności (CI) dochodzi do wzrostu wartości parametrów takich jak wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym oraz gęstość pozorna. Maleje zaś ich porowatość. W efekcie przejścia opalu A w kwarc dochodzi do zmniejszenia w skale zawartości wody, porowatości i przepuszczalności. Wzrost temperatury, ciśnienia, alkaliczności i obecności różnych katalizatorów przyspiesza proces tych przemian. Obecność minerałów ilastych powoduje zaś spowolnienie tempa tych procesów.

Proces sulfatyzacji został zidentyfikowany w skałach o charakterze węglanowym. Występowanie pozostałości po siarczanach stwierdzono w obrębie niektórych bioklastów węglanowych. Celestyn zidentyfikowano w pustkach skalnych. Tego typu fazy mineralne można wiązać z aktywnością procesów biochemicznych, wywołanych rozkładem tkanek miękkich organizmów zwierzęcych oraz substancji organicznej pochodzenia roślinnego wypełniającej stylolity. Rozkład tkanek miękkich zachodził w warunkach tlenowych przy

współdziałanie bakterii heterotroficznych. W wyniku tego procesu uwalniały się pęcherzyki gazów. Uwalniane produkty przemian metabolicznych, siarkowodór (H_2S) i dwutlenek węgla (CO_2), powodowały lokalny wzrost kwasowości. Utlenianie siarki elementarnej i siarkowodoru, pochodzących z rozkładu tkanek miękkich przez bakterie aerobowe, prowadziło do lokalnego wzrostu stężenia jonów siarczanowych. W wyniku spadku kwasowości i rozpuszczania bioklastów następował wzrost stężenia kationów wapnia i magnezu oraz anionów wodorowęglanowych. Proces ten trwał do momentu nasycenia względem siarczanu wapnia. W efekcie pierwotny metastabilny węglan wapnia, zastępowany był przez siarczan. Baryt zidentyfikowany w badanych skałach jest ostatnią fazą świadcząca o zmienności chemizmu wód porowych od przesycenia w stosunku do węglanów, do przesycenia w stosunku do siarczanów. Bakteryjna redukcja siarczanów doprowadziła do krystalizacji pirytu i sparytu ziarnistego, a zakończyła się wraz z początkiem krystalizacji sparytu blokowego.

Wyniki badań nad procesami mineralizacji są prezentowane również w pracach [Załącznik 4, Kod: P5, K29, M3].

Najważniejsze aspekty naukowe wynikające z przeprowadzonych badań:

Pirytyzacja:

- Formacje skalne z dominującym pirytem, pozbawione naturalnych składników buforujących, w wyniku jego utleniania stanowią źródło zanieczyszczeń geoantropogenicznych.
- Wykazano chemiczne powinowactwo pomiędzy strefą zmineralizowaną a koncentracją pierwiastków śladowych; zaobserwowano, że wraz ze wzrostem zawartości siarki pirytovej rośnie stężenie geotoksyn, takich jak Cu, Zn i Cd.
- Minerale towarzyszące oraz skały macierzyste o właściwościach buforujących, w tym krzemionkowe fazy mineralne, odgrywają istotną rolę w ograniczaniu negatywnych skutków wietrzenia pirytu.
- Stwierdzono zależność odwrotnie proporcjonalną pomiędzy zawartością krzemionki a siarczkami żelaza; wzrost zawartości Si powoduje spadek wartości Fe i S w badanych materiałach.
- Formy siarczków w piaskowcach mają charakter masywny i grubokrystaliczny, co opóźnia proces wietrzenia strefy zmineralizowanej i zmniejsza negatywne oddziaływanie siarczków żelaza na środowisko naturalne.
- Kwarc odporny na wietrzenie, przy braku innych minerałów siarczkowych i składników buforujących w skałach objętych pirytyzacją może pełnić rolę naturalnej strefy buforowej.

Sylifikacja:

- Wykazano, że krzemionka występująca w odmianach skał sylifikowanych tworzy częściowo uporządkowane fazy mineralne opalu CT (krystobalitowo-trydymitowego) w stosunku do opalu C (krystobalitu).

- Stwierdzono, że zastosowanie metod katodoluminescencyjnych umożliwiło identyfikację różnych generacji krzemionki oraz ujawnienie wcześniej niewidocznych w obrazie mikroskopowym pierwotnych składników skalnych.
- Wykazano, że transformacja krzemionkowych faz mineralnych w skale prowadziła do zmian jej cech fizyko-mechanicznych. Wraz ze wzrostem współczynnika krystaliczności (CI) rosły wartości parametrów takich jak wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym oraz gęstość pozorna, natomiast malała porowatość.
- W wyniku przejścia opalu A w kwarc zmniejszyły się w skale zawartość wody, porowatość oraz przepuszczalność.

Sulfatyzacja:

- Przeprowadzona analiza wyników wykazała, że proces sulfatyzacji był powiązany zarówno z wiekiem badanych skał, jak i z procesami wietrzenia. Na podstawie uzyskanych danych wytypowano surowce skalne o największej zawartości strontu – w szczególności odwapnione opoki. Stwierdzono, że zawartość strontu wzrastała w kolejności od starszych geologicznie wapieni jurajskich do młodszych kredowych opok mastrychtu.

Drugi etap prac badawczych miał na celu identyfikację pierwiastków śladowych w surowcach skalnych, składowanych na haldach oraz ustalenie zależności pomiędzy ich koncentracją a zidentyfikowanymi wtórnymi procesami mineralizacyjnym. Badania te miały na celu określenie, w jakim stopniu wtórne procesy mineralizacyjne wpływają na kumulację lub uwalnianie pierwiastków śladowych w ośrodku gruntowo-skalnym.

Przedstawione wyniki opisano i udokumentowano w publikacji [Załącznik 4. Kod: C3]

W drugim etapie prac oznaczano pierwiastki śladowe: Pb, Cr, Cd, Ni, Zn, Cu, Co, As, Sr, Ba, Zr, U oraz Th w surowcach skalnych i przeanalizowano ich związek z wtórnymi procesami mineralizacyjnymi. Podczas prac terenowych pobrano około 100 próbek, obejmujących różne odmiany petrograficzne skał z strefy kontaktu trzeciorzęd–mezozoik w złożu „Bełchatów”. Wykonano ponad 1300 analiz chemicznych w skałach węglanowych (wapieniach), skałach przejściowych (marglach, opokach i gezach), skałach ilastych (iłach), skałach okruchowych (piaskowcach), skałach krzemionkowych (diatomitach) oraz w skałach powstałych w wyniku procesów wietrzeniowych (opokach odwapnionych).

Badania mineralogiczne potwierdziły, że analizowane skały były poddane wtórnym procesom mineralizacyjnym, takim jak pirytyzacja, sulfatyzacja i sylikacja. Wyniki analiz chemicznych wskazały ponadto, że podwyższone stężenia oznaczanych pierwiastków w surowcach skalnych mają charakter naturalny i wynikają ze specyficznych warunków ich powstawania. Na zwiększoną koncentrację pierwiastków wpływ miały prawdopodobnie neogeńska seria burowęglowa oraz zidentyfikowane procesy mineralizacyjne.

Analizy zawartości pierwiastków promieniotwórczych toru i uranu (Th, U) przeprowadzono dla 50 próbek wapieni wieku jurajskiego, 18 próbek iłów kaolinitowych oraz 24 próbek surowców krzemionkowych, reprezentowanych przez opoki, diatomity, gezy i skały okruchowe oraz 6 próbek margli. Najwyższą koncentrację tych pierwiastków stwierdzono w

surowcach ilastych. Ich wartość wynosiła odpowiednio od 8 do 12 mg/kg dla toru oraz od 2,3 do 3,5 mg/kg dla uranu. W utworach węglanowych zawartość toru kształtowała się na poziomie 0,5 do 2,1 mg/kg, zaś uranu od 0,5 do 2,2 mg/kg. Z grupy surowców krzemionkowych najwyższe koncentracje posiadały diatomity, gdzie zawartość toru była na poziomie od 1,5 do 1,8 mg/kg, a uranu od 1,3 do 1,7 mg/kg. Stwierdzone koncentracje pierwiastków promieniotwórczych w badanych utworach o znaczeniu surowcowym nie przekraczały dopuszczalnych wartości. Zwrócono jednak uwagę na dość wysoką koncentrację toru i uranu w opokach. Sytuację tą można tłumaczyć obecnością w tych skałach minerałów takich jak monacyt.

Badania wykazały również, że stężenie kadmu (Cd) w poszczególnych grupach skał wynosiło średnio: 1,39 mg/kg w wapieniach, 0,86 mg/kg w piaskowcach, 0,44 mg/kg w diatomitach, 0,5 mg/kg w skałach typu opoka, 0,89 mg/kg w marglach, 0,21 mg/kg w gezach, 1,39 mg/kg w iłach kaolinowych i 2,13 mg/kg w opokach odwapnionych. Przedstawione wyniki jednoznacznie wskazują, że są one zawyżone w porównaniu z wartościami uważanymi za graniczne lub charakterystyczne dla skał osadowych. Wysokie stężenie kadmu (Cd) stwierdzone w próbkach, może być związane z procesami wietrzeniowymi jakim podlegały skały w badanej strefie. Kadm jest pierwiastkiem silnie rozproszonym w skałach, a w procesach wietrzeniowych jest łatwo uruchamiany. Następnie ulega wiązaniu przez minerały ilaste, wodorotlenki żelaza oraz substancję organiczną. Na zjawisko to ma również wpływ zidentyfikowany w badaniach mineralogicznych proces pirytyzacji. Niektóre rodzaje węgla, jak również torf i ropa naftowa zawierają stosunkowo dużo kadmu (Cd), co może wynikać z powinowactwa do materii organicznej, z selektywnej adsorpcji i kompleksowania przez związki humusowe, zwłaszcza osadów bogatych w substancje organiczne.

Oznaczone zawartości arsenu (As) wykazały przekroczone wartości dla piaskowców, w których również stwierdzono proces pirytyzacji. Maksymalna wartość arsenu (As) dla tej grupy skał wyniosła 5 mg/kg przy średnim stężeniu 2,67 mg/kg. Pierwiastek ten związany jest z mineralizacją siarczkową oraz z oddziaływaniem serii burowęglowej. Piryty bogaty w arsen jest powszechny w formacjach osadowych bogatych w materię organiczną, zwłaszcza w złożach łupków, węgla i torfu. Arsen (As) jest uwalniany w wyniku rozpadu piryty i innych minerałów siarczkowych, może wywołać zmienność chemizmu wód gruntowych i wzrost stężenia w warstwie wodonośnej.

W badanych skałach, najwyższą średnią zawartość ołowiu (Pb) zaobserwowano w iłach kaolinowych, a najniższą w opokach odwapnionych. Zakres występowania ołowiu w iłach kaolinowych wynosił od 12 do 30 mg/kg i nie przekraczał wartości granicznych dla tego pierwiastka dopuszczalnych dla skał ilastych. Średnia zawartość ołowiu w wapieniach wyniosła 7,01 mg/kg, a w piaskowcach 9,42 mg/kg. Wartości przekraczające poziom 20 mg/kg stwierdzono w próbkach wapienia i piaskowca, w których analiza mineralogiczna wykazała proces mineralizacji siarczkowej. Ołów (Pb) jest pierwiastkiem wykazującym skłonności sulfofilne, co przejawia się tworzeniem minerałów siarczkowych. W badanych surowcach zaobserwowano szczątki organiczne oraz szwy stylolitowe, wypełnione siarczkiem żelaza - pirytem. Badania mineralogiczne nie wykazały w badanych próbkach minerałów ołowiu, lecz nagromadzenie piryty.

Wykazano również, że pierwiastkiem dominującym w utworach przejściowych był stront (Sr), którego zawartość wyniosła 295 mg/kg w opoce oraz 362 mg/kg w opoce

odwapnionej. W skałach tych w porównaniu do wapieni, rejestrowano stront we wszystkich próbkach na podobnym poziomie. W wapieniach odnotowane stężenie strontu zmieniało się w szerokim zakresie wartości od 24 do 375 mg/kg, przy średniej wartości 171 mg/kg. Przeprowadzona analiza profili wykazała, że zawartość strontu (Sr) w tych skałach znacznie malała w miejscach, gdzie zidentyfikowano proces sylifikacji. Na uwagę zwraca fakt, że stront wzrastał od utworów węglanowych starszych geologicznie wapieni jurajskich do młodszych kredowych opok mastrychtu.

Wyniki badań w zakresie oznaczeń pierwiastków śladowych w surowcach skalnych były również prezentowane w publikacjach i na konferencjach krajowych i zagranicznych [Załącznik 4, Kod: P10, P32, P18, P19, K21, K22].

Najważniejsze aspekty naukowe wynikające z przeprowadzonych badań:

- Wykazano, że anomalnie wysokie stężenia oznaczanych pierwiastków (Pb, As, Cd) w surowcach skalnych mają pochodzenie naturalne i wynikają ze specyficznych warunków ich formowania. Ołów (Pb) i arsen (As) są powiązane z mineralizacją siarczkową, natomiast kadm (Cd) dodatkowo związany jest z minerałami ilastymi.
- Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników zwraca uwagę na wzrost koncentracji strontu (Sr) wraz z wiekiem badanych skał i procesami wietrzeniowym.
- W oparciu o uzyskane wyniki wytypowano surowce skalne o największej zawartości strontu (opoki odwapnione). Stwierdzono, że zawartość strontu (Sr) wzrasta od utworów węglanowych starszych geologicznie wapieni jurajskich do młodszych kredowych opok mastrychtu.
- We wszystkich zbadanych surowcach skalnych stwierdzono obecność pierwiastków promieniotwórczych toru (Th) i uranu (U). Surowce ilaste charakteryzowały się najwyższymi stężeniami tych pierwiastków. W skałach wzbogaconych w tor (Th) i uran (U) zidentyfikowano monacyt, który może być odpowiedzialny za lokalny wzrost wartości tych pierwiastków.

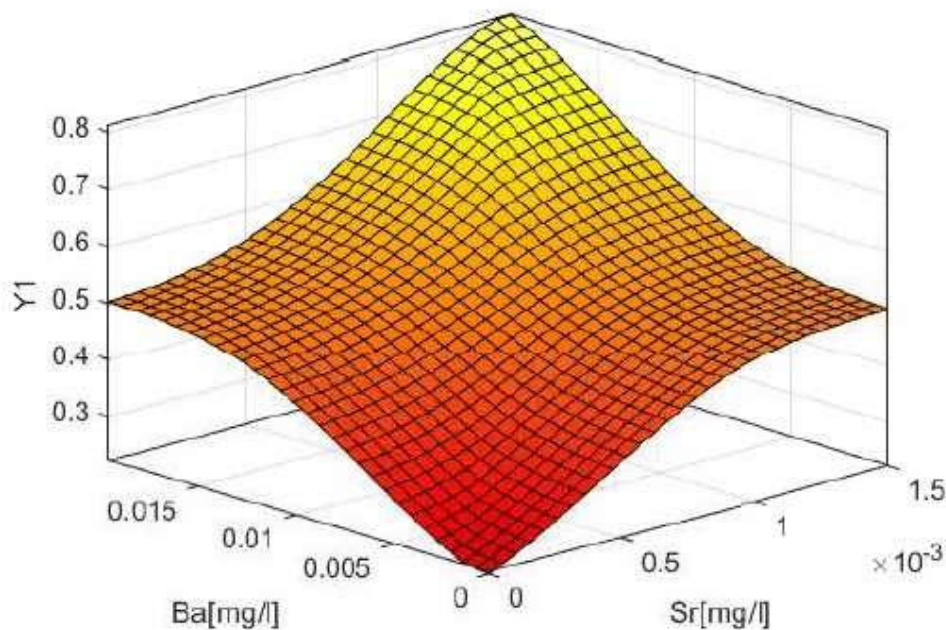
Wyniki badań przeprowadzonych w trzecim etapie przedstawiają koncepcje modeli statystycznych dla wymywalności oraz zawartości pierwiastków śladowych w funkcji położenia na siatce dyskretnej przekroju poprzecznego próbek.

Przedstawione wyniki dotyczące metod wnioskowania rozmytego, opisano i udokumentowano w publikacjach [Załącznik 4. Kod: C1, C4].

W oparciu o przeprowadzone badania chemiczne opracowano modele statystyczne. W prezentowanych pracach przy przygotowaniu koncepcji systemu przyjęto model wnioskowania rozmytego typu Mamdaniego - Assiliana. Badania takie zostały przeprowadzone na przykładzie wymywalności strontu i baru z opok oraz w aspekcie oceny interakcji chemicznej siarczków żelaza z krzemionką przy sukcesywnie powiększonym zagłębieniu w arenicie sublitycznym.

Wymywalność dla strontu i baru była określana w eluatach wodnych dla 8 frakcji czasowych. Charakter wymywalności stronu z opoki wykazał tendencję wzrostową w

pierwszych miesiącach. Jego stężenie w eluatach wzrastało równomiernie. Najwyższą wartość 0,14 mg/l została osiągnięta po 384 h. Po okresie 16 dni jego stężenie ulegało stopniowemu spadkowi do wartości 0,12 mg/l. Wymywalność baru utrzymywała się prawie na jednym poziomie wynoszącym 0,019 mg/l. Uzyskane wyniki wnioskowania rozmytego, funkcji wynikowej Y , wymywalności Ba i Sr z opoki, dla uzyskanych danych empirycznych świadczą o "średniej" ocenie systemu wnioskowania dla przeprowadzonych eksperymentów. Wynik "średni" zmiennej wynikowej Y został uzyskany dla każdego rozważanego w pracy kroku czasowego. Nie odnotowano żadnych anomalii ani skokowych zmian wartości funkcji wynikowej wymywalności wobec przeprowadzonych eksperymentów. Z tego względu uzyskanie "średniego" wyniku pozwoliło na zastosowanie modelu Mamdanie-Assilian do oceny wymywalności Ba i Sr w badanym ich zakresie wartości (rys.1).



Rys.1 Model wymywalności, zależności płaszczyzny od formy dla odpowiedzi zmiennej wyjściowej $Y1$ na zmienne wejściowe (wymywalność Sr i Ba po 6 h)

Badania chemiczne wykonane na matrycy skalnej objętej mineralizacją siarczkową wykazały, że najwyższe stężenie siarki i żelaza występowało w obszarze 4 i wynosiło odpowiednio dla S 52,70% wag. zaś dla Fe 43,48% wag. W obszarze tym nie stwierdzono występowania Si oraz Al, zaś stężenie pierwiastków takich jak Mn, Cu, Zn wyniosło średnio 0,3% wag. Stężenie Cd wyniosła 0,13% wag. Ten skład pierwiastkowy przedstawia w badanym arenicie sublitycznym chemiczny charakter mineralizacji siarczkowej. Badania w kolejnych punktach, wraz z oddaleniem się od strefy zmineralizowanej wskazały wzrost krzemionki od 22,8 do 29,12% wag. Przy użyciu modelu wyznaczano zależności między wielkościami wejściowymi zawartość Si, S i Fe z arenitu, dla kolejnych, coraz to głębiej położonych punktów przekroju poprzecznego, na wartość wielkości wyjściowej w postaci wyniku wnioskowania. Wyniki uzyskano dzięki zastosowaniu bloku decyzyjnego. Z uwagi na charakter analizowanych danych, w zastosowanym bloku decyzyjnym użyto modelu Mamdanie-Assilian. Było to uzasadnione koniecznością przeprowadzenia oceny próbek skał pod kątem różnych zawartości Si, S, Fe w coraz głębszych partiach przekroju poprzecznego próbki. Czego następstwem jest

brak ostrych granic między wartościami zmiennych. Zaprezentowane wyniki funkcji wynikowej Y zmian zawartości Si, S oraz Fe w arenicie sublimacyjnym, wobec przyjętych danych empirycznych świadczą o "średniej" ocenie modelu wnioskowania dla przeprowadzonych eksperymentów. Otrzymanie "średniego" wyniku pozwala na uzasadnione stosowanie proponowanego modelu Mamdanie-Assilian do zawartości Si, S oraz Fe w próbkach arenitu sublimacyjnego. Ponadto, zwiększenie wiarygodności wyniku eksperckiego uzyskanego z modelu można uzyskać poszerzając zakres danych eksperymentalnych zestawiając je dodatkowo z innymi niezależnymi analizami.

Wyniki badań dynamiki uwalniania wybranych pierwiastków śladowych z badanych materiałów oraz ich rozkładu przestrzennego były prezentowane również w publikacjach i na konferencjach krajowych i międzynarodowych [Załącznik4, Kod: P15, P16, P17, K18, K19, K20, K21, K22].

Najważniejsze aspekty naukowe wynikające z przeprowadzonych badań:

- Uzyskane wyniki pozwalają na stosowanie modelu Mamdanie-Assilian do oceny wymywalności pierwiastków śladowych.
- Zastosowany model umożliwia predykcję potencjalnych skutków stabilizacji zmian zawartości pierwiastków w funkcji położenia na siatce dyskretnej przekroju poprzecznego próbek.
- Niewątpliwą zaletą stosowania użytej w pracy metody wnioskowania rozmytego jest możliwość jej aplikacji przy wielu wariantach eksperymentów oraz możliwość jego rozbudowywania o kolejne zmienne wejściowe, co pozwoli na predykcję potencjalnych skutków stabilizacji wymywalności pierwiastków z macierzy skalnej w funkcji czasu.
- Badania te wskazują na potencjał wykorzystania metod statystycznych w celu optymalizacji strategicznych etapów badań chemicznych poprzez skuteczne wyodrębnianie ważnych informacji z danych. W rezultacie, istnieje możliwość ograniczenia konieczności przeprowadzania wielu kosztownych i czasochłonnych badań laboratoryjnych.

Czwarty etap prac badawczych był kluczowy w aspekcie praktycznego znaczenia prowadzonych badań. W pracy wykazano, że dokładna specyfikacja ośrodka gruntowo-skalnego, oparta na specjalistycznych badaniach mineralogiczno-petrograficznych, jest pomocna w określeniu przyczyny korozji obiektów inżynierskich.

Przedstawione wyniki opisano i udokumentowano w publikacjach [Załącznik 4. Kod: C5, C6].

W czwartym etapie prac badawczych w oparciu o przeprowadzone studia przypadku, wykazano praktyczne znaczenie prowadzonych badań. Wykazano negatywne oddziaływanie wtórnych procesów mineralizacyjnych na obiekty inżynierskie.

Przeprowadzona w pracy analiza ośrodka gruntowego zwraca uwagę na wpływ pirytu na korozyjność materiałów wykonanych z żelaza. Grunty jako czynnik środowiska naturalnego oddziałują na materiały powodując ich korozję. Korozyjność środowiska ziemnego jest przyczyną wielu awarii, gdzie jednoznaczna ocena czynnika sprawczego jest często utrudniona.

Dokładna specyfikacja ośrodka gruntowego, oparta na specjalistycznych badaniach laboratoryjnych i terenowych jest pomocna m.in. przy określeniu przyczyny awarii sieci wodociągowych. Analiza rodzaju i stopnia korozyjności środowiska ziemnego ma praktyczne znaczenie w dokonaniu właściwego wyboru tworzywa metalowego z uwzględnieniem jego przeznaczenia oraz przewidywanego czasu eksploatacji. Z przeprowadzonej w ramach badań charakterystyki gruntu ilastego można wnioskować, że warunki panujące w miejscu awarii sprzyjały korozyjności. Rezystywność skośna dla określonego gruntu mieściła się w przedziale od 20-200 Ωm , co pozwoliło zakwalifikować go do gruntów o normalnej korozyjności. Stwierdzona w badaniach mineralogicznych obecność pirytu może przyspieszać zjawisko korozyjności. Podczas utleniania siarczków żelaza dochodzi do utworzenia kwasu siarkowego, który intensyfikuje korozyjność materiałów, np. żelaza. Ponadto, zidentyfikowane w gruncie minerały ilaste o budowie mieszano-pakietowej z grupy smektytów, będą potęgowały wzrost wilgotności, zwiększały ilość wody porowej oraz potęgowały efekt takich zjawisk, jak pęcznienie i skurcz. Nie bez znaczenia pozostaje również charakter kwasowy gruntu, który w analizowanym przypadku przy wartości pH w zakresie od 4,5 do 6,4 będzie przyspieszał zjawisko korozyjności.

W badaniach mineralogiczno-petrograficznych, wykazano również wpływ pirytyzacji czy sylifikacji na korozyjność betonu. Reakcja alkaliów z kruszywem zachodzi w roztworze znajdującym się w porach betonu, w obecności kruszyw zawierających reaktywną krzemionkę. Badania wykazały, że na reakcje alkaliczną w kruszywach ma wpływ skład chemiczny, jak i cechy strukturalno-teksturalne skał i składników je budujących. Wyniki wskazują, że składniki mineralne o bardziej nieuporządkowanej budowie wewnętrznej wykazują większą reaktywność. Zdefektowana struktura kwarcu związana z naprężeniami powstałymi na skutek ruchów tektonicznych, w obserwacjach mikroskopowych wykazuje faliste wygaszanie światła. W analizowanym przypadku, beton wykonany został na kruszywie poliminerale, co stanowiło dodatkowe trudności w oszacowaniu reaktywności kruszyw. Reaktywność kruszywa rozdrobnionego do frakcji mniejszej od 300 μm , oszacowana szybką metodą chemiczną wykazała, że kruszywo zawiera 70 mmol/l krzemionki rozpuszczalnej, a zmniejszenie zasadowości roztworu wynosi 65 mmol/l. Ilość krzemionki rozpuszczalnej w niewielkim stopniu przekroczyła granicę reaktywności, która przy określonym poziomie zmniejszenia zasadowości wynosiła 63 mmol/l. Tym samym, klasyfikuje je do kruszyw reaktywnych. Wykazano, że wraz z rozdrobieniem kruszywa wzrastał ubytek masy poszczególnych frakcji, a tym samym ich reaktywność. Stwierdzona w kruszywach obecność amorficznego opalu A oraz odmiany minerałów z grupy SiO_2 częściowo uporządkowanych w stosunku do opalu C (krystobalitu), czyli opalu CT (krystobalit - trydymit), wpływała na korozyjność betonu. Badania pokazały, że obecność faz mineralnych typu opal CT często wykazuje powinowactwo do minerałów z grupy smektytów. Nie można wykluczyć, że podobnie jak w przypadku asocjacji smektyt-trydymit/krystobalit, minerały te są strukturalnie spokrewnione ze smektytem. Zidentyfikowane minerały są typowe dla procesu sylifikacji i wpływają na reaktywność alkaliczną kruszyw.

Wyniki badań w zakresie wykorzystania metod petrograficznych w ocenie reaktywności kruszyw były prezentowane na konferencjach krajowych i zagranicznych [**Załącznik 4, Kod: K8, K9, K12**].

Najważniejsze aspekty naukowe wynikające z prezentowanych badań:

- Stwierdzono, że wtórne procesy mineralizacyjne zidentyfikowane metodami petrograficznymi, takie jak pirytyzacja i sylikacja, pogarszają trwałość obiektów inżynierskich.
- Proces pirytyzacji sprzyja i przyspiesza zjawisko korozyjności materiałów wykonanych z żelaza.
- Obecność minerałów krzemionkowych o amorficznej i nieuporządkowanej budowie wewnętrznej oraz skał objętych sylikacją wpływa na reaktywność alkaliczną kruszyw stosowanych w betonach.
- Analiza mineralogiczna i petrograficzna, jakościowa i ilościowa pozwala na rozpoznanie składników szkodliwych, a także identyfikację skutków reakcji mikroalkalicznej zachodzącej w materiałach, w których nie zaobserwowano jeszcze niszczącego procesu w skali makroskopowej.

📄 Najważniejsze osiągnięcia wynikające z badań prezentowanych w I cyklu publikacji:

- Wykazano, że zidentyfikowane w surowcach skalnych wtórne procesy mineralizacyjne takie jak pirytyzacja, sylikacja i sulfatyzacja, są źródłem zanieczyszczeń geoantropogenicznych.
- Potwierdzono, że obecność pirytu w ośrodku gruntowo skalnym, sprzyja korozyjności materiałów wykonanych z żelaza i zwiększa awaryjność rur wodociągowych.
- Wykazano, że anomalny poziom oznaczanych pierwiastków kadmu (Cd), arsenu (As), ołowiu (Pb) w surowcach skalnych jest pochodzenia naturalnego i wynika ze zidentyfikowanego procesu pirytyzacji.
- Wykazano, że wraz ze wzrostem zawartości siarki pirytovej rośnie stężenie takich pierwiastków jak: miedź (Cu), cynk (Zn), kadm (Cd).
- Wykazano zależność odwrotnie proporcjonalną, pomiędzy krzemionką a siarczkami żelaza. Stwierdzono, że wzrost zawartości Si powoduje spadek wartości Fe i S.
- Stwierdzono, że odporny na wietrzenie kwarc przy braku innych minerałów siarczkowych i składników buforujących, może pełnić rolę naturalnej strefy buforowej.
- Stwierdzono, że zawartość strontu (Sr) wzrasta od utworów węglanowych starszych geologicznie wapieni jurajskich do młodszych kredowych opok mastrychtu, co może mieć znaczenie w monitoringu środowiska.
- Stwierdzono, że w wyniku transformacji krzemionkowych faz mineralnych w skale w wyniku sylikacji, dochodzi do zmian jej cech fizyko-mechanicznych i powstawania utworów trudno urabialnych. Wraz ze wzrostem współczynnika krystaliczności (CI) dochodzi do wzrostu wartości parametrów takich jak wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym oraz gęstość pozorna. Maleje zaś ich porowatość. W efekcie przejścia opalu – A w kwarc dochodzi do zmniejszenia w skale zawartości wody, porowatości i przepuszczalności.

- Wykazano, że wśród składników reaktywnych wywołujących reakcje alkaliczne kruszyw ASR w betonie są: opal typu A, opal CT, krystobalit, trydymit, chalcedon, kwarc o budowie mozaikowej oraz kryptokrystaliczny i mikrokrystaliczny.
- Wykazano, że na korozyjność betonu wpływa, nie tylko zawartość mikrokrystalicznego kwarcu, ale znaczenie ma również kąt falistego wygaszania. Kruszywa, które zawierają ponad 20% kwarcu, a kąt falistego wygaszania wynosi powyżej 15° , powinny być rozpatrywane jako potencjalnie reaktywne.
- Potwierdzono, że zastosowana metodyka petrograficzna pozwala na identyfikację składników szkodliwych, pogarszających trwałość obiektów inżynierskich i ma praktyczne znaczenie w ocenie awaryjności infrastruktury wodociągowej.
- Przedstawione w pracy wyniki statystyczne dowiodły słuszności zastosowania modelu Mamdanie-Assiliana, który umożliwia predykcję potencjalnych skutków oddziaływania na środowisko pierwiastków śladowych w funkcji czasu bądź położenia na siatce dyskretnej przekroju poprzecznego próbek.

Możliwość wykorzystania wyników

Jednym z najważniejszych zadań stojących przed współczesną nauką jest identyfikacja składników szkodliwych dla środowiska naturalnego. Powszechnie przyjęło się, że jeśli surowce skalne są pochodzenia naturalnego to nie stanowią zagrożenia dla środowiska i zdrowia człowieka. Przeprowadzone badania mają na celu zwrócenie uwagi, że wtórne procesy mineralizacyjne będące przedmiotem badań, stanowią „patologię środowiskową” i są źródłem zanieczyszczeń geantropogenicznych. Zjawiska te są ważnym aspektem badawczym w różnych obszarach naukowych i gospodarczych.

Identyfikacja wtórnych procesów mineralizacyjnych w ośrodku gruntowo-skalnym może znaleźć bezpośrednie zastosowanie w diagnostyce awarii infrastruktury podziemnej, w szczególności sieci wodociągowych i kanalizacyjnych. Przykładem jest analiza przyczyn przyspieszonej korozji rur stalowych i żeliwnych, wynikającej z agresywności chemicznej gruntu związanej z obecnością siarczków, siarczanów lub kwaśnych wód pochodzenia naturalnego. Wyniki badań mogą być wykorzystywane na etapie projektowania sieci przesyłowych do doboru materiałów odpornych na określone warunki geochemiczne oraz do planowania zabezpieczeń antykorozyjnych.

Analiza rodzaju i stopnia korozyjności środowiska gruntowego ma również praktyczne znaczenie w procesie doboru materiałów konstrukcyjnych stosowanych w obiektach inżynierskich, takich jak fundamenty, zbiorniki podziemne czy konstrukcje hydrotechniczne. Identyfikacja procesów mineralizacji siarczkowej, w szczególności związanych z obecnością pirytu, ma istotne znaczenie w ochronie środowiska wodnego. Utlenianie pirytu prowadzi do powstawania kwaśnych wód o podwyższonej zawartości siarczanów i metali, porównywalnych w skutkach do oddziaływania kwaśnych opadów atmosferycznych. Wyniki badań mogą być wykorzystane m.in. w rekultywacji terenów pogórnich, projektowaniu systemów neutralizacji kwaśnych wód drenażowych oraz w ocenie ryzyka skażenia wód powierzchniowych i podziemnych.

Stwierdzona w badaniach obecność wtórnych procesów mineralizacyjnych ma również znaczenie w ocenie reaktywności alkalicznej kruszyw stosowanych w budownictwie. Procesy

sylikacji oraz występowanie minerałów krzemionkowych o specyficznej strukturze wewnętrznej mogą inicjować reakcję alkalia-kruszywa (AAR), prowadzącą do degradacji betonu. Wyniki te mogą być wykorzystywane przy kwalifikacji kruszyw do produkcji betonu, projektowaniu mieszanek betonowych odpornych na AAR oraz w diagnostyce uszkodzeń istniejących konstrukcji inżynierskich, takich jak mosty, zapory czy nawierzchnie drogowe.

Wykazany proces sylikacji wpływa również na zmianę parametrów fizyko-mechanicznych skał, takich jak wytrzymałość na ściskanie, gęstość, porowatość czy przepuszczalność, co ma znaczenie w robotach ziemnych i górniczych. Identyfikacja skał poddanych tym procesom umożliwia wcześniejsze rozpoznanie tzw. skał trudno urabialnych, co pozwala na optymalizację doboru technologii urabiania, planowanie kosztów inwestycji oraz ograniczenie ryzyka awarii sprzętu.

Zidentyfikowany w badaniach proces sulfatyzacji oraz podwyższone regionalnie stężenia strontu na obszarach o dominującej budowie węglanowej mogą stanowić podstawę do dalszych badań interdyscyplinarnych. Wyniki te mogą być wykorzystane w analizach środowiskowo-zdrowotnych, mających na celu ocenę potencjalnego związku pomiędzy geochemicznym tłem środowiska a występowaniem chorób endemicznych, takich jak schorzenia układu kostnego. Przykładowo, możliwe jest zastosowanie uzyskanych danych w planowaniu badań epidemiologicznych lub w wyznaczaniu obszarów wymagających szczególnego monitoringu środowiskowego.

Podsumowując, przeprowadzone badania identyfikacji wtórnych procesów mineralizacyjnych oraz oceny ich oddziaływania na środowisko stanowią cenne źródło informacji dla inżynierii środowiska, geologii inżynierskiej, budownictwa oraz ochrony zdrowia. Zastosowanie metod statystycznych wykorzystanych w pracy umożliwia skuteczne przetwarzanie dużych zbiorów danych oraz optymalizację kluczowych etapów badań, co stwarza potencjał do ich wykorzystania w systemach wspomagania decyzji środowiskowych i inżynierskich.

II. Wykorzystanie surowców mineralnych i odpadowych w innowacyjnych technologiach przemysłowych

Wprowadzenie i uzasadnienie prowadzonych badań

Kontynuując zagadnienia naukowe w obszarze badań mineralogiczno-petrograficznych podjęłam współpracę z naukowcami z dyscyplin Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz Inżynieria Lądowa i Transport, w ramach której prowadzone są eksperymentalne badania nad „**Wykorzystaniem surowców mineralnych i odpadowych w innowacyjnych technologiach przemysłowych**”. Wyniki tych prac stanowią **kolejne osiągnięcie naukowe** i wpisują się w zagadnienia związane z gospodarką obiegu zamkniętego.

Regeneracyjny system gospodarczy Unii Europejskiej ukierunkowany jest na minimalizację zużycia surowców pierwotnych, ograniczenie ilości wytwarzanych odpadów oraz redukcję emisji zanieczyszczeń i strat energii poprzez wdrażanie zamkniętych obiegów materiałowych. W ramach takich systemów odpady powstające w jednych procesach technologicznych wykorzystywane są jako surowce wtórne w innych procesach, co umożliwia istotne ograniczenie ilości odpadów produkcyjnych. W konsekwencji konieczne staje się kompleksowe i racjonalne wykorzystanie zasobów surowców naturalnych oraz szerokie stosowanie surowców wtórnych i odpadowych, których znaczenie systematycznie wzrasta w ostatnich dziesięcioleciach. Wraz z postępem technologicznym oraz rosnącą presją na ochronę środowiska naturalnego coraz większego znaczenia nabiera efektywne gospodarowanie tymi zasobami. Zagadnienie to ma szczególne znaczenie ze względu na wysoki udział odpadów powstających podczas górniczej eksploatacji i przeróbki kopalin, które w Polsce stanowią największą, pod względem ilościowym, grupę wytwarzanych i składowanych odpadów. Do głównych sektorów generujących znaczne ilości odpadowych surowców mineralnych należą [3]:

- przemysł wydobywczy, obejmujący górnictwo węgla, rud metali oraz kopalin skalnych, a także procesy przeróbki kopalin,
- hutnictwo żelaza oraz metali nieżelaznych,
- sektor energetyczny, w tym elektrownie, elektrociepłownie i ciepłownie,
- przemysł chemiczny.

Badania nad wykorzystaniem poszczególnych rodzajów mineralnych surowców odpadowych prowadzone są od wielu lat. Jednym z najpowszechniejszych kierunków ich zagospodarowania jest przemysł materiałów budowlanych. Największe ilości odpadowych surowców mineralnych wykorzystywane są w produkcji kruszyw sztucznych, stanowiących substytut kruszyw naturalnych. Stosowanie w budownictwie m.in. popiołów lotnych, żużli wielkopieczowych, odpadów powęglowych, gipsów syntetycznych oraz pyłów krzemionkowych powstających w procesach produkcji krzemu i żelazokrzemu jest obecnie

³P. Wyszomirski. Wybrane naturalne i wtórne surowce mineralne. Wydawnictwo Naukowe Akapit, Kraków 2021

powszechną praktyką. Istotnym i perspektywicznym kierunkiem zagospodarowania surowców mineralnych oraz odpadów mineralnych są materiały pyliste powstające w procesach wydobywania, kruszenia i mielenia skał. Przykładem takiego zastosowania jest wykorzystanie drobnoziarnistych frakcji bazaltów w rolnictwie ekologicznym, wynikające z ich podwyższonej zawartości magnezu, pierwiastka niezbędnego dla prawidłowego wzrostu roślin oraz funkcjonowania organizmów żywych. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod obróbki fizycznej, chemicznej i termicznej możliwe jest poprawienie właściwości mechanicznych i użytkowych tych materiałów, a także ograniczenie negatywnego oddziaływania działalności przemysłowej na środowisko.

Wykorzystanie surowców mineralnych i odpadowych w innowacyjnych technologiach przemysłowych wpisuje się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym, której celem jest minimalizacja ilości odpadów oraz maksymalne wykorzystanie dostępnych zasobów. Takie podejście sprzyja ograniczeniu eksploatacji złóż naturalnych, redukcji emisji zanieczyszczeń oraz obniżeniu kosztów produkcji. W efekcie rozwój nowoczesnych technologii opartych na surowcach mineralnych i odpadowych stanowi istotny element zrównoważonego rozwoju przemysłu oraz odpowiedź na współczesne wyzwania ekologiczne i ekonomiczne.

W aktualnych opracowaniach dotyczących zagospodarowania surowców mineralnych i odpadowych, zauważalny jest niedobór rozwiązań związanych z ich wykorzystaniem w budownictwie energooszczędnym, w szczególności w postaci kompozytowych akumulatorów ciepła. Istotnym kierunkiem zastosowania tych surowców są również technologie oczyszczania wody i ścieków. Przedstawione w pracy badawczej zagadnienia wskazują na możliwość wykorzystania wybranych surowców mineralnych i odpadowych w nowych, proekologicznych kierunkach rozwoju technologii przemysłowych.

Cel badań

Celami naukowymi przedstawionego cyklu publikacji są:

- ▣ ocena możliwości zastosowania wybranych surowców mineralnych i odpadowych, jako szkieletu przewodzącego w zmiennofazowych akumulatorach ciepła,
- ▣ wpływ składu chemicznego i cech strukturalno – teksturalnych surowców mineralnych i odpadowych na zdolność absorpcji materiałów zmiennofazowych (PCM),
- ▣ ocena możliwości wykorzystania wybranych surowców mineralnych w technologiach ściekowych.

Omówienie osiągniętych wyników

W ramach prac laboratoryjnych i eksperymentalnych przeprowadziłam badania nad możliwością wykorzystania odpadowych surowców mineralnych jako kompozytów magazynujących ciepło, zawierających organiczny materiał zmiennofazowy (PCM). W pierwszym etapie zostały przeprowadzone innowacyjne prace nad poprawą efektywności dystrybucji ciepła w obrębie pakietów z PCM poprzez zastosowanie w ich strukturze odpadów przemysłowych, w postaci recyklatu kosowego.

Uzyskane wyniki badań opisano w publikacjach [Załącznik 4. Kod: C7, C8].

Celem mojej pracy były badania nad możliwością zastosowania recyklatu węglowego jako szkieletu przewodzącego w zmiennofazowych akumulatorach ciepła. We współpracy z prof. Lechem Lichołaiem oraz dr inż. Michałem Musiałem z Politechniki Rzeszowskiej prowadziłam badania eksperymentalne, obejmujące również opracowanie funkcji odpowiedzi prezentującej właściwości termiczne nowego kompozytu. Prace nad opracowaniem kompozytu na bazie PCM, recyklatu węglowego oraz szkieletu metalowego prezentowane w publikacji pt: ***Functioning of Heat Accumulating Composites of Carbon Recyclate and Phase Change Material***, obejmowały w moim zakresie analizy chemiczne oraz strukturalno-teksturalne. Wyniki przeprowadzonych badań i analiz dostarczyły istotnych informacji dotyczących funkcjonowania cieplnego oraz projektowania zmiennofazowych akumulatorów ciepła, jak również analizy efektywności dystrybucji ciepła w obrębie ich struktury. Wieloaspektowe badania, uwzględniające geometrię akumulatorów, sposoby poprawy przewodności cieplnej, a także zmienne warunki i intensywność procesów nagrzewania oraz chłodzenia, pozwoliły na uzasadnienie zasadności stosowania PCM z recyklatem koksowym i szkieletem metalowym. Dodatkowo umożliwiły analizę predykcji wpływu poszczególnych zmiennych wejściowych na efektywność dystrybucji ciepła. Przedstawione w pracy wyniki empiryczne i statystyczne potwierdziły zasadność stosowania recyklatu koksowego jako szkieletu przewodzącego w zmiennofazowych akumulatorach ciepła. Zastosowany w badaniach recyklat wykazuje wysoki potencjał zastosowania w celu zwiększenia intensywności transferu ciepła. Analizy składu chemicznego wskazały, że jego wysoka zawartość węgla korzystnie wpływa na dystrybucję ciepła. Obserwacje mikrostruktury recyklatu potwierdziły rozwiniętą strukturę powierzchni, co stanowi dodatkowy, korzystny aspekt badanego materiału. Zastosowany recyklat charakteryzuje się ponadto korzystnymi właściwościami z punktu widzenia uwarunkowań ekologicznych i ekonomicznych.

W publikacji pt: ***Analysis of the Thermal Performance of Isothermal Composite Heat Accumulators Containing Organic Phase-Change Material***, przedstawiono wyniki badań materiałowych, badań eksperymentalnych i analizy statystyczne właściwości cieplnych trzech typów akumulatorów ciepła zawierających organiczny materiał zmiennofazowy oraz dwa materiały o wyższym przewodnictwie cieplnym: siatkę miedzianą i porowaty recyklat koksu. Celem badań było empiryczne i statystyczne porównanie wzrostu dystrybucji ciepła PCM przez przewodnik miedziany i recyklat koksu. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Statistica. Badania struktury i składu chemicznego zastosowanego recyklatu koksu oraz testy empiryczne gotowych akumulatorów ciepła potwierdziły poprawę dystrybucji i magazynowania ciepła przez akumulator z materiałem zmiennofazowym i recyklatem koksu w porównaniu z akumulatorami z czystym materiałem zmiennofazowym i przewodnikiem miedzianym, ponieważ czas utrzymywania temperatury 20°C został wydłużony odpowiednio o siedem i dziewięć minut. Ponadto, wyniki analizy statystycznej dostarczyły odpowiedzi na pytanie, które z przyjętych wielkości wejściowych – temperatura początkowa, geometria baterii i temperatura nagrzewania – były statystycznie istotne dla każdego z trzech rozpatrywanych typów baterii. Wyznaczone funkcje aproksymujące zweryfikowano pod kątem statystycznej trafności ich zastosowania dla wszystkich trzech testowanych typów akumulatorów ciepła. Wnioski te zostały dodatkowo potwierdzone jakościową analizą wydajności próbek akumulatora ciepła wykonanych za pomocą kamery termowizyjnej (FLIR F7i), która wykazała,

że zastosowanie siatki miedzianej jako przewodzącego wzmocnienia akumulatora ciepła PCM spowodowało szybkie topnienie i późniejsze przegrzanie fazy ciekłej PCM, co ograniczyło efektywne przenikanie ciepła do fazy stałej PCM.

Najważniejsze aspekty naukowe wynikające z prezentowanych badań:

- Wyniki empiryczne wykazały, że akumulator ciepła z PCM i recyklatem koksowym wydłużył czas magazynowania ciepła i utrzymywał temperaturę powierzchni zewnętrznej na poziomie 20°C o 7 min dłużej w porównaniu z identycznie ukształtowanym akumulatorem z czystym PCM oraz o 9 min w porównaniu z identycznie ukształtowanym akumulatorem z PCM i przewodnikiem miedzianym.
- Ponadto, zauważono, że po 65 minutach od rozpoczęcia chłodzenia badanych próbek, temperatura akumulatora ciepła z PCM/recyklatem koksowym osiągnęła niższe wartości niż temperatura akumulatora ciepła z czystym PCM; przyczyną tego było to, że ten drugi akumulator ciepła nie był w stanie oddać zgromadzonego w nim ciepła.
- Recyklat użyty w tej pracy to materiał o dużym potencjale aplikacyjnym w zakresie zwiększenia intensywności wymiany ciepła. Analiza składu chemicznego wykazała, że jego wysoko węglanowa natura sprzyjała dystrybucji ciepła.
- Obserwacje struktury zastosowanego recyklatu wskazały na mikrostrukturalną naturę jego powierzchni. Ta cecha była również korzystnym aspektem analizowanego materiału.
- Recyklat jest również korzystny z punktu widzenia ekologii i efektywności kosztowej.

Drugi etap prac obejmował badania empiryczne nad możliwością utworzenia kompozytu zmiennofazowego na bazie diatomitów karpackich. Zakres prac badawczych obejmował badania mineralogiczne i kalorymetryczne kompozytu organicznego materiału zmiennofazowego i diatomitu.

Uzyskane wyniki badań opisano w publikacji [Załącznik 4. Kod: C9].

W artykule pt: *Carpathian Diatomites and Their Applications in Phase-Change Composites*, przedstawiono wyniki składu fazowego oraz cech strukturalno – teksturalnych karpackich diatomitów. Stwierdzono, że badany materiał jest zróżnicowany litologicznie, jego głównym składnikiem jest krzemionka występująca w formie opalu oraz minerały ilaste. Przeprowadzone badania pozwoliły zidentyfikować ich nanostrukturalny charakter. Budujące je nanopory tworzyły regularne układy, które w zależności od rodzaju okrzemek miały kształt sitowy, rurowy lub formy „plastra miodu”. Zastosowany organiczny materiał zmiennofazowy w formie alifatycznych mieszanin węglowodorów nasyconych, wysycił pory oraz mikro pory diatomitu, częściowo przeciwdziałając jego wyciekowi po jego roztopieniu. W trakcie krzepnięcia kompozytu zauważono tworzenie się podłużnych (igielkowych) struktur

krystalicznych, stałego PCM, które powstawały w pobliżu ziaren krystalizacyjnych. Z kolei otrzymane termogramy kalorymetryczne kompozytu organicznego materiału zmiennofazowego i diatomitu, dowiodły rozszerzenia zakresu temperatur, w którym zachodzi przemiana fazowa z 4-5°C (dla czystego PCM RT28HC) do 15-17°C dla badanych kompozytów o proporcjach wagowych 1:1 oraz 4:6. Ponadto, zaobserwowano powstanie dwóch odrębnych pików podczas krzepnięcia kompozytu, występujących w temperaturach 23°C oraz 16°C. Odnotowano, że zastosowany diatomit karpacki, zawierający drobniejsze frakcje mineralne, wpływa na obniżenie przewidywanej entalpii przemiany fazowej otrzymanego kompozytu. Zgodnie z przewidywaniami stechiometrycznymi entalpia topnienia/krzepnięcia kompozytu zawierającego 50% diatomitu, powinna cechować się wartością 95 J/g, lecz wynosi ok. 73 J/g. Podobny trend zaobserwowano w przypadku kompozytu zawierającego 60% diatomitu. W tym przypadku spodziewana wartość entalpii powinna wynosić 76 J/g wobec odnotowanej wartości 65 J/g. Stanowi to odpowiednio spadek o ok. 24,2-14,5%. Poza zmianą całkowitej wartości entalpii przemiany fazowej, między kompozytami diatomitu zawierającymi 60% i 50% zauważono przesunięcie głównego pików z ok. 22°C do ok. 26°C. Powyższy fakt dowodzi powstania nowych struktur krystalicznych PCM i diatomitu, które mogą tworzyć mieszaniny eutektyczne. Otrzymane mieszaniny eutektyczne, po odseparowaniu frakcji ilastej z diatomitu mogą posiadać potencjał zwiększenia wartości entalpii.

Najważniejsze aspekty naukowe wynikające z prezentowanych badań:

- Otrzymane termogramy kalorymetryczne kompozytu organicznego materiału zmiennofazowego i diatomitu, dowiodły rozszerzenia zakresu temperatur w których zachodzi przemiana fazowa z 4-5°C (dla czystego PCM RT28HC) do 15-17°C dla badanych kompozytów o proporcjach wagowych 1:1 oraz 4:6
- Stwierdzono, że zdolność do wiązania i akumulacji ciepła będzie zależna od wielkości cząstek diatomitu lub względnej wielkości PCM i porów, tj. cech strukturalnych i teksturalnych.
- Specyficzna natura struktury wewnętrznej diatomitów korzystnie wpływa na zdolność absorpcyjną PCM, jednak zidentyfikowane minerały ilaste mogą odpowiadać za spadek wartości entalpii.

Kolejnym etapem badań były prace objęte patentem w obszarze utworzenia stanowiska badawczego i sposobów nasączania materiałów o określonych cechach strukturalno – tekstualnych substancją zmiennie fazową.

Uzyskane wyniki badań opisano w patencie [Załącznik 4. Kod: C10]

W ramach prac laboratoryjnych i eksperymentalnych nad możliwością wykorzystania odpadowych surowców mineralnych jako szkieletu przewodzącego w zmiennofazowych akumulatorach ciepła, opracowano sposób nasączania materiału porowatego PCM oraz stanowisko badawcze. Efektem tych prac jest przyznany Patent nr 246493 na wynalazek pt: ***Sposób nasączania materiału porowatego co najmniej jedną substancją zmiennofazową oraz stanowisko do realizacji tego sposobu*** [Załącznik 4, Kod: PAT1]. W ramach aktualnie

realizowanych badań w zakresie wykorzystania mineralnych surowców w kompozytach zmiennofazowych zostały opracowane trzy kolejne zgłoszenia patentowe [Załącznik 4, Kod: PAT2, PAT3, PAT4].

Wyniki prac nad wykorzystaniem odpadowych surowców mineralnych jako szkieletu przewodzącego w zmiennofazowych akumulatorach ciepła zostały wyróżnione na VIII konferencji Solina 2023 „Rozwój zrównoważony – Innowacyjne technologie energoefektywne - źródła energii, racjonalne zużycie energii-Energia niskoemisyjna przyjazna dla środowiska” oraz były prezentowane na konferencjach [Załącznik 4, Kod: K7, K11, K10].

W czwartym etapie prac badawczych przeprowadzono badania w zakresie wykorzystania surowców mineralnych w technologii oczyszczania ścieków.

Uzyskane wyniki badań opisano w publikacji [Załącznik 4. Kod: C11]

Celem mojej pracy badawczej była identyfikacja mineralnych surowców wykorzystywanych do usuwania i odzyskiwania fosforu z ścieków. Wyniki tych prac zostały przedstawione w publikacji pt: *Efficiency of phosphorus removal and recovery from wastewater using marl and travertine and their thermally treated forms*. W niniejszym artykule przedstawiono badania w warunkach dynamicznych materiałów marglowych i trawertynowych oraz ich modyfikacji termicznej (wygrzewanych w piecu muflowym przez 1 godzinę: margiel w temperaturze 1000°C, a trawertyn w temperaturze 700°C) oraz materiału Polonite® pod kątem wiązania fosforu ze ścieków komunalnych. Badania przeprowadzono w kolumnach filtracyjnych, stosując obciążenia hydrauliczne 118,13, 312,56 i 640,45 dm³/m²·h, aż stosunek stężenia fosforu na odpływie do stężenia początkowego fosforu osiągnął 0,97. Materiały z zaadsorbowanym fosforem poddano procesowi desorpcji z użyciem wody destylowanej oraz roztworów NaOH i HCl, stosując obciążenie hydrauliczne 312,56 dm³/(m²·h). Aby kompleksowo ocenić potencjalne zastosowanie materiałów i ich modyfikacji termicznej w rolnictwie, określono wymywanie z nich pierwiastków. Najkorzystniejsze obciążenie hydrauliczne wyniosło 118,13 dm³/m²·h, przy którym sorbenty osiągnęły najwyższą wydajność. Margiel prażony w 1000 °C był najskuteczniejszy, osiągając najdłuższy czas pracy złoza ze sprawnością większą niż 98%. Najlepszym odczynnikiem do desorbowania fosforu z prażonego margla był roztwór HCl o stężeniu 0,1 mol/l, a dla innych materiałów roztwór NaOH o stężeniu 0,1 mol/l. Surowy margiel najlepiej uwalniał fosfor w obecności wody destylowanej, co w połączeniu z wynikami wymywania pierwiastków z tego sorbentu wskazuje na jego potencjalne zastosowanie jako nawozu lub środka poprawiającego właściwości gleby w produkcji rolnej. Testy materiałów w warunkach dynamicznych z wykorzystaniem margla i trawertynu z ich termicznymi modyfikacjami pozwoliły stwierdzić, że materiały te mogą być wykorzystywane w technologiach oczyszczania ścieków i uzdatniania wody.

Najważniejsze aspekty naukowe wynikające z prezentowanych badań:

- Wykazano, że zastosowany w pracy margiel i trawertyn to nowe, skuteczne materiały reaktywne służące do usuwania fosforu ze ścieków
- Obróbka termiczna margla i trawertynu zwiększa efektywność wiązania fosforu.

- Surowy margiel dobrze uwalnia fosfor ze swojej powierzchni w obecności wody destylowanej.
- Podgrzany margiel skutecznie desorbował fosfor przy użyciu 0,1 mol/ l HCl.

📄 **Najważniejsze osiągnięcia wynikające z badań prezentowanych w II cyklu publikacji:**

- Wykazano zasadność stosowania recyklatu koksowego jako przewodzącego szkieletu w akumulatorach ciepła z przemianą fazową.
- Udowodniono zasadność zastosowania diatomitu karpackiego jako matrycy materiałowej dla PCM, w celu utrzymania stabilności kształtu materiału.
- Potwierdzono, że zdolność do wiązania i akumulacji ciepła będzie zależna od cech strukturalnych i teksturalnych zastosowanych materiałów.
- Wykazano, że margiel i trawertyn wraz z ich modyfikacjami termicznymi, mogą być wykorzystywane w technologiach oczyszczania ścieków i wody.

📄 **Możliwość wykorzystania wyników**

Przeprowadzone badania empiryczne i analizy statystyczne potwierdziły zasadność wykorzystania recyklatu koksowego jako przewodzącego szkieletu w akumulatorach ciepła z przemianą fazową (PCM). Zastosowanie tego materiału umożliwia poprawę przewodnictwa cieplnego kompozytów, co przekłada się na zwiększenie efektywności procesów magazynowania i oddawania energii cieplnej. Rozwiązania tego typu mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w systemach akumulacji ciepła w budynkach energooszczędnych i pasywnych, instalacjach solarnych, pompach ciepła oraz w przemysłowych systemach odzysku ciepła odpadowego, np. z procesów technologicznych lub instalacji wentylacyjnych. Dalsze badania powinny obejmować ocenę trwałości mechanicznej i termicznej kompozytów oraz analizę ich pracy w warunkach długotrwałej eksploatacji.

Wyniki badań potwierdzające przydatność diatomitu karpackiego jako matrycy materiałowej dla PCM wskazują na możliwość jego zastosowania w kompozytowych akumulatorach ciepła o stabilnym kształcie. Takie rozwiązania mogą być wykorzystywane jako elementy ścian, stropów lub przegród budowlanych, wspomagające pasywną regulację temperatury wewnętrznej budynków. Ponadto stabilizowane diatomitem materiały PCM mogą znaleźć zastosowanie w modułowych magazynach ciepła przeznaczonych do współpracy z instalacjami odnawialnych źródeł energii. Kierunki dalszych badań powinny obejmować dobór optymalnych frakcji diatomitu, modyfikację jego powierzchni oraz ocenę kompatybilności z różnymi typami materiałów zmiennofazowych.

Wykazano, że zdolność materiałów do wiązania i akumulacji ciepła jest ściśle uzależniona od ich cech strukturalnych i teksturalnych, takich jak porowatość, powierzchnia właściwa czy rozkład wielkości porów. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość projektowania materiałów o zdefiniowanych właściwościach termicznych, dostosowanych do konkretnych zastosowań technologicznych. Przykładem może być opracowanie kompozytów do krótkoterminowej akumulacji ciepła w systemach wentylacji mechanicznej z odzyskiem energii lub materiałów o zwiększonej pojemności cieplnej przeznaczonych do stabilizacji temperatury w instalacjach

przemysłowych. Dalsze badania powinny koncentrować się na modelowaniu zależności struktura–właściwości oraz na modyfikacjach materiałowych zwiększających efektywność akumulacji energii.

Badania materiałowe prowadzone w warunkach dynamicznych z wykorzystaniem margla i trawertynu, zarówno w stanie naturalnym, jak i po modyfikacjach termicznych, potwierdziły możliwość ich zastosowania w technologiach oczyszczania ścieków i wody. Materiały te mogą być wykorzystywane jako naturalne sorbenty w złożach filtracyjnych, kolumnach sorpcyjnych lub reaktorach przepływowych, szczególnie w procesach usuwania związków fosforu i innych zanieczyszczeń biogenych. Zastosowanie margla i trawertynu może znaleźć miejsce w małych i średnich oczyszczalniach ścieków, systemach oczyszczania wód opadowych oraz w instalacjach ochrony wód powierzchniowych. Dalsze badania powinny obejmować ocenę ich zdolności sorpcyjnej w długim czasie oraz wpływ warunków hydraulicznych na skuteczność oczyszczania.

Wysoka skuteczność materiałów poddanych obróbce termicznej wskazuje na ich szczególną przydatność w procesach oczyszczania mediów z fosforu. Materiały te mogą być stosowane jako etap doczyszczania ścieków po procesach biologicznych lub w barierach reaktywnych stosowanych w ochronie wód gruntowych. Ich wykorzystanie może również przyczynić się do ograniczenia eutrofizacji zbiorników wodnych. Kierunki dalszych badań powinny obejmować możliwość regeneracji sorbentów, odzysku związanego fosforu oraz ocenę opłacalności ekonomicznej wdrażanych rozwiązań w skali technicznej.

Pozostałe osiągnięcia naukowo – badawcze

Problem zagospodarowania osadów ściekowych przy wykorzystaniu surowców mineralnych był również realizowany przeze mnie w ramach Projektu B+R pt:” **Opracowanie nawozu organiczno-mineralnego na bazie osadów ściekowych z dodatkiem mikroskładników mineralnych**” nr 08/PRZ/1/DG/PCI/2019 [Załącznik 4, Kod: PB3]. Celem projektu było opracowanie technologii unieszkodliwiania osadów ściekowych w kierunku wytworzenia produktu w formie nawozu mineralno-organicznego. W ramach prowadzonych badań wykonałam analizy mineralogiczne składu fazowego i ocenę właściwości diatomitu w aspekcie produkcji nawozu organiczno-mineralnego na bazie osadów ściekowych. Efektem przeprowadzonych badań było uzyskanie granulatu o właściwościach nawozowych. Za realizację projektu Zespół naukowy pod kierownictwem Pana dr hab. inż. Adama Masłonia, uzyskał **nominację do Polskiej Nagrody Inteligentnego Rozwoju 2021 w kategorii: Innowacyjne technologie i badania przyszłości**. Wyniki uzyskanych badań były prezentowane na konferencjach [Załącznik 4, Kod: K14, K15]. W obszarze neutralizacji zanieczyszczeń w ściekach, w ramach projektu pt: „**Ekologiczny koagulant do separacji trudno usuwalnych zanieczyszczeń ze ścieków, w celu odzyskania wody**” przeprowadziłam badania chemiczne składu ekologicznego koagulantu wykorzystywanego do sorpcji trudno usuwalnych ścieków. Badania były realizowane w ramach projektu [Załącznik 4, Kod: PB4]. Realizując zagadnienia związane z zagospodarowaniem odpadowych surowców mineralnych, wykonywałam również badania optymalizacji składu materiału budowlanego – kruszywa oraz właściwości fizyko-chemicznych wytworzonego materiału budowlanego w ramach projektu pt: „**Material**

budowlany wytwarzany z komunalnych osadów ściekowych i odpadów mineralnych”, MNiSW/2020/346/DIR [Załącznik 4, Kod: PB5].

W latach 2002-2007 w trakcie studiów doktoranckich na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, nabyłam doświadczenie w działalności naukowo-badawczej związanej z badaniami mineralogiczno-petrograficznymi surowców skalnych. Prace te dotyczyły głównie badań mineralogicznych (mikroskopia optyczna, mikroskopia skaningowa, dyfraktometria rentgenowska, spektroskopia w podczerwieni) oraz specjalistycznych analiz chemicznych wraz z ich interpretacją i dokumentowaniem wyników badań. Były one realizowane w ramach prac badawczych finansowanych przez KBN, a także zlecanych przez KWB „Bełchatów” [Załącznik 4, Kod: PB1, PB2, PR1, Z1, Z2]. Efektem tych prac są publikacje prezentowane na konferencjach krajowych i zagranicznych [Załącznik 4, Kod: P1, P2, P3, P4, P5, K1, K2, K3].

Realizując zainteresowania naukowe związane z monitoringiem środowiska glebowego w ocenie oddziaływania inwestycji przemysłowych, we współpracy z Panią dr inż. Ewą Głowienką z Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie, przeprowadziłam prace badawcze w zakresie **monitoringu środowiska glebowego przy zastosowaniu technik GIS i teledetekcji. Rezultaty tych badań stanowią kolejne osiągnięcie naukowe.**

A. Rozkład czaso-przestrzenny pierwiastków śladowych w glebach na przykładzie strontu, wokół zakładów produkujących materiały budowlane.

Celem prowadzonych badań była analiza zawartości strontu (Sr) w glebach. Analizy przeprowadzono w oparciu o dane, pochodzące z programu „Monitoring chemizmu gleb rolniczych w Polsce” (GIOŚ 2023). Prace badawcze przeprowadzono dla obszaru pasa ciągnącego się wzdłuż wschodniej granicy Unii Europejskiej (UE) o szerokości około 150 km. Gleby na tym obszarze są wieku czwartorzędowego. Obszar należy do terenów słabo zurbanizowanych z punktowymi źródłami zanieczyszczeń. Zagrożenie dla środowiska naturalnego stanowią: największa w Europie środkowo - wschodniej cementownia, a także kopalnie węgla brunatnego i zakłady azotowe zlokalizowane w centralnej części badanego obszaru. Do niniejszych badań wybrano 48 punktów pomiarowych. Badania wykonywano w latach od 1995 do 2020, w odstępach 5 letnich. Baza atrybutów dała podstawę do badań zmienności strontu oraz wapnia wymiennego, radioaktywności i zdolności sorpcyjnych gleb. W oparciu o uzyskane dane zidentyfikowano trzy strefy. Strefę A o niskiej zawartości Sr, B – strefę, gdzie zawartość Sr jest zbliżona do wyników badań europejskich, C – strefę o skrajnie wysokiej zawartości Sr. W strefie A odnotowano wartości Sr w przedziale 3,0 - 10,0 mg/kg oraz gleby płowe i bielcowe. W południowej i północnej części badanego obszaru (strefa B) wartości były zbliżone do średniej europejskiej i wynosiły 18 - 32 mg/kg oraz występowały gleby brunatne. W strefie C rozkład przestrzenny Sr wskazywał na występowanie skrajnej anomalii w centralnej części badanego obszaru. Wartości stężeń Sr na tym terenie dla poszczególnych lat od 1995 do 2020, wynosiły od 471 do 560 mg/kg. Gleby w tym rejonie określono jako wapienne rędziny. Podwyższone regionalnie stężenia strontu, można zaobserwować głównie na obszarach, gdzie w budowie geologicznej dominują skały

węglanowe, jak w przypadku obszaru testowego (strefa C). Obliczony współczynnik koncentracji strontu EF ze strefy C, zawierał się w przedziale od 1,75 – 6, wskazując na źródło inne niż geogeniczne. W tym przypadku nie można wykluczyć zanieczyszczeń przemysłowych, wynikających z emisji pyłów z sąsiadującej cementowni. Stwierdzono, że stront może być wykorzystany w monitoringu środowiska, jako znacznik indywidualnego źródła antropogenicznego oraz przy monitorowaniu źródła materiałów. Wyniki zostały opublikowane i zaprezentowane na konferencjach międzynarodowych [Załącznik 4, Kod: P24, P29, K7, K11, K22].

B. Rozkład przestrzenny zasolenia gleb oraz pH w południowo – wschodniej Polsce.

Celem pracy była przestrzenna i czasowa analiza rozkładu zasolenia oraz poziomu pH glebach w południowo-wschodniej Polsce w zależności od wybranych czynników środowiskowych. Badany obszar Karpat fliszowych wyróżnia się specyficznymi warunkami hydrologicznymi i geologicznymi. Wykorzystując specjalistyczne oprogramowanie GIS przeprowadzono odpowiednie procedury interpolacyjne, które umożliwiły wizualizację w postaci map rastrowych i wektorowych rozkładu przestrzennego badanych właściwości gleby. Na podstawie uzyskanych map rozkładu przestrzennego i czasowego oraz przetworzonych zdjęć satelitarnych zauważono, że największe zmiany zachodziły we wszystkich badanych parametrach gleby w roku 2010. W przypadku zasolenia gleb, w roku 1995 zaobserwowano wysokie stężenia w przeważającej części obszaru badawczego. W kolejnych latach powierzchnia gruntów zasolonych malała, a w roku 2010 zanotowano znaczny spadek poziomu zasolenia gleb. Analiza porównawcza uzyskanych map rastrowych i wieloczasowych zdjęć satelitarnych wraz z ich pochodnymi (wskaźniki roślinności) potwierdziła, że zmiany właściwości gleby spowodowane są okresowymi zalewami badanego obszaru. Wyniki analiz wskazały duże zmiany poziomu potasu (K), sodu (Na), pH i zasolenia gleb. Miało to miejsce głównie w północnej i południowej części badanego obszaru. Powodem zaobserwowanych zmian mogła być powódź, która nawiedziła ten region w czerwcu 2010 roku. Badania umożliwiły wykorzystanie analiz przestrzennych GIS i obrazów teledetekcyjnych do korelacji poziomu zasolenia gleby z odczynem gleby oraz czynnikami wpływającymi na właściwości gleby przez okres 15 lat.

Wyniki realizowanych prac badawczych zostały opublikowane i zaprezentowane na konferencjach międzynarodowych [Załącznik 4, Kod: P20, K22, K24].

C. Analiza erozji gleby w obszarach lessowych na przykładzie Roztoczańskiego Parku Narodowego.

Celem badań było przeprowadzenie analizy porównawczej danych przestrzennych m.in. ortofotomapa, mapy topograficzne, BDO250, mapy pochodne NMT (cieniowanie, nachylenie, hipsometria), oraz archiwalnych map geomorfologicznych Roztocza w ocenie zróżnicowania i dynamizmu zmian jakim podlegał badany obszar na przestrzeni ostatnich 50 lat. Najsilniejsze przeobrażenia zarejestrowane na dostępnych mapach NMT stwierdzono na terenach pokryw lessowych, objętych procesem erozji. Efektem tych zjawisk jest silnie rozwinięta sieć wąwozów (suchych dolin) o nachyleniu zboczy przeważnie od 5 do 15°. Obszar ten charakteryzuje się dużą deniwelacją terenu od 50 do 120 m. Ponadto, na podstawie dostępnych danych stwierdzono, że analizowane wąwozy erozyjne wykazują różne stadia rozwoju.

Wąwozy te szybko wydłużają się, wcinając erozją wgłębną. Przeważająca jednak część wąwozów to forma wąwozów rozwiniętych, charakteryzujących się wylotem na poziomie dna doliny. Wąwozy te zwykle się już nie wydłużają, lecz tylko poszerzają. W publikacji w oparciu o ogólnodostępne dane przestrzenne (m.in. obrazy satelitarne, ortofotomapy), opisano ponadto zmiany jakim uległy formy eoliczne oraz antropogeniczne na analizowanym fragmencie Roztocza. Wyniki analiz zmienności geomorfologicznych na obszarze Roztoczańskiego Parku Narodowego przedstawiono w monografii pt. ” GIS i teledetekcja w monitoringu środowiska” oraz na konferencji [Załącznik 4, Kod: M00, K25].

D. Badania korelacji pierwiastków śladowych w środowisku glebowo – roślinnym.

Celem badań była identyfikacja anomalnych koncentracji geochemicznych w glebach oraz korzeniach marchwi pochodzących z ogródków działkowych miasta Przemyśla. Przy zastosowaniu technik kartograficznych wykonano mapy monitoringu zanieczyszczeń środowiska, obejmujących rejestrację miejsc zakładów przemysłowych, wprowadzających wyznaczone pierwiastki śladowe do środowiska przyrodniczego. Technologie te umożliwiły również wizualizację interakcji zachodzących między systemem przyrodniczym typu gleba-roślina i wykonanie map korelacji występujących w tym układzie. W ramach analizy chemicznej, przy zastosowaniu atomowej spektroskopii absorpcyjnej (ASA), wyznaczono koncentrację kadmu, ołowiu i miedzi w roślinach oraz glebach. Badania mineralogiczne przy zastosowaniu dyfraktometrii rentgenowskiej oraz mikroskopii skaningowej, umożliwiły określenie składu fazowego badanych gleb. Wszystkie operacje i czynności związane z analizą przestrzenną i kartowaniem wykonane zostały w opensource`owym systemie QGIS/GRASS. Uzyskane wyniki badań chemicznych dla materiału roślinnego oraz gleb pozwoliły stwierdzić, że we wszystkich 14 punktach pomiarowych została przekroczona górna dopuszczalna granica zawartości Cd podawana w Rozporządzeniu 420/211 Komisji UE z 2011 roku. Zawartości Cu i Pb we wszystkich próbkach nie przekroczyły dopuszczalnych norm. Mapy korelacji pomiędzy środowiskiem glebowym a roślinnym potwierdziły wyniki badań geochemicznych. Miejsca największej koncentracji kadmu pokrywały się z podwyższoną zawartością tego pierwiastka w roślinach. Wyniki realizowanych prac badawczych zostały opublikowane i zaprezentowane na konferencji [Załącznik 4, Kod: P27, P35, K26].

E. Monitoring środowiska naturalnego w aspekcie inwestycji budowlanych.

Głównym celem prac była ocena zmian wielozasowych środowiska naturalnego na terenie trwającej inwestycji budowlanej jaką jest budowa autostrady A4 – odcinek Rzeszów wschód – Jarosław zachód, w rejonie węzła Wierzbna. Analiza została przeprowadzona w oparciu o zdjęcia satelitarne Landsat zarejestrowane w trzech różnych okresach inwestycyjnych badanego obiektu:

- 2006 r. - przed rozpoczęciem prac budowlanych
- 2015 r. - podczas trwających prac budowlanych
- 2016 r. - etap finalizacji prac inwestycyjnych.

Ponadto, analiza pozyskanych wielozasowych zdjęć satelitarnych Landsat, umożliwiła zbadanie morfologii warunków podłoża dolin rzecznych Sanu, Wisłoka i Mleczi. Przeprowadzona analiza obrazów satelitarnych Landsat 8 potwierdziła istotny wpływ budowy

autostrady A4 na sąsiadujące ekosystemy i środowisko przyrodnicze. Zmiany objęły obszary znajdujące się zarówno w strefie bezpośredniego oddziaływania autostrady jak i oddalone od inwestycji. Budowa autostrady wpłynęła na zwiększenie ilości budowli hydrotermalnych w bliskim sąsiedztwie autostrady, wymusiła w wielu przypadkach regulację cieków i osuszanie terenów podmokłych, zarówno łąkowych jak i leśnych. Sytuacja ta sprzyja degradacji cennych ekosystemów wodno-błotnych, występujących w starorzeczach Sanu, objętych ochroną NATURA 2000. W tych właśnie miejscach zauważono największą zmienność środowiskową. Budowa autostrad poza dokładną analizą warunków geotechnicznych, musi być poprzedzona szczegółową analizą na etapie jej projektowania w ocenie oddziaływania przebiegu korytarzy ekologicznych, w tym przede wszystkim koryt cieków naturalnych oraz ich dolin.

Wyniki prowadzonych analiz opublikowano w branżowym czasopiśmie [Załącznik 4, Kod: P26].

F. Monitoring wybrzeża Morza Bałtyckiego w oparciu o wieloczasowe fotografie lotnicze.

Głównym celem badań było określenie dynamiki i ilości zmian morskich wzdłuż wybranej części wybrzeża w okresie 1951-2004 oraz ocena tendencji rozwoju wybrzeża w tym obszarze. Dla każdego z sześciu rocznych zbiorów danych określono następujące elementy: przednia linia podstawy wydmowej, linia wodna i szerokość plaży. Położenie linii bazowej wydmowej, która odzwierciedlała przebieg linii brzegowej w danym roku, została zrekonstruowana w oparciu o stereoskopowe badanie obrazów z każdego rocznego zestawu. Zmiany jednokierunkowe w okresie 1951-2004 miały miejsce tylko w granicach 10% badanej długości odcinka przybrzeżnego. Badany brzeg charakteryzował się wysoką i znaczną dynamiką zmian. Prawie połowa brzegu, w szczególności środkowego wybrzeża, wykazywała duże zmiany, przekraczające 2 m/rok. Granice zmian linii brzegowej wahały się od 90 do 120 m, a ich prędkość od 0 do 11 m/rok, z wyjątkiem środkowej i zachodniej części badanego odcinka wybrzeża które zostały poddane zdecydowanie bardziej intensywnym przemianom brzegowym. Badania oparte na analizie wielookresowych obrazów lotniczych umożliwiły odtworzenie warunków pośrednich linii brzegowej Morza Bałtyckiego oraz określenie objętości i szybkości zmian w lokalizacji linii bazowej wydm w badanym okresie 53 lat oraz poznanie tendencji rozwoju i dynamiki wybrzeża. Wyniki prac zostały opublikowane i zaprezentowane na kongresie [Załącznik 4, Kod: P21, K23].

W 2017 roku za cykl publikacji naukowych dotyczących monitoringu środowiska glebowego przy zastosowaniu technik GIS i Teledetekcji, otrzymałam indywidualną nagrodę Rektora Politechniki Rzeszowskiej.

W trakcie pracy w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska PRz, podejmowałam również działania badawcze w ocenie osadów dennych w zbiornikach Nielisz, Cierpisz, Brzoza Królewska, Nowa Wieś, Kamionka i Blizne. Prace te skupiały się na analizie osadów w kontekście ich genezy oraz typu morfologicznego składników. Dotyczyły m.in. określenia ekologicznego ryzyka związanego z zanieczyszczeniem osadów metalami ciężkimi oraz korelacji między gromadzeniem się metali ciężkich, a różnymi frakcjami granulometrycznymi

i substancjami humusowymi. Wyniki tych prac zostały przedstawione w publikacjach o międzynarodowym zasięgu [Załącznik 4, Kod: P7, P10].

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

We współpracy z Politechniką Lwowską (Ukraina) prowadzone były w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej, wspólne badania dotyczące ilościowych i jakościowych problemów zanieczyszczenia osadów dennych i gleb w rejonach przemysłowych w zakresie metali ciężkich oraz wybranych związków organicznych pochodzenia antropogenicznego. Efektem tej współpracy było współautorstwo w publikacji [Załącznik 4, Kod: P8].

W dniach 05.05 – 10.05.2024 r. w ramach wyjazdu studyjnego na Erasmus+ Staff Mobility for Teaching, w Technical University in Kosice na Słowacji, nawiązałam współpracę z naukowcami z Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska w zakresie prowadzenia badań nad interakcją między budynkami a środowiskiem, w celu przywrócenia stabilności ekologicznej środowiska. We współpracy z Panią Prof. Silvia Vilcekova i naukowcami z Technical University in Kosice, powstały opracowania [Załącznik 4, Kod: C6, P6].

Od lat ściśle współpracuję z naukowcami z Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W ramach wieloletniej współpracy badawczej w zakresie monitoringu jakości gleb i oceny oddziaływania inwestycji przemysłowych na ich stan, poszerzałam swoje zainteresowania i wiedzę w zakresie analiz środowiskowych oraz modelowania przestrzennego przy wykorzystaniu zaawansowanych technik GIS (Systemy Informacji Geograficznej) i teledetekcji. Praktyczne umiejętności w tym obszarze doskonaliałam w trakcie miesięcznego stażu naukowego, który został zrealizowany na Wydziale Geodezji i Inżynierii Środowiska AGH w Katedrze Fotogrametrii, Teledetekcji Środowiska i Inżynierii Przestrzennej, w okresie od 10.03.2025 do 17.04.2025 r. Efektem współpracy i zdobytej wiedzy są publikacje i wystąpienia konferencyjne z zakresu analiz rozkładu czaso-przestrzennego zanieczyszczeń w glebach, skałach i roślinach w rejonie zakładów przemysłowych [Załącznik 4, Kod: S2, P29, P21, P24, P26, P27, P29, K5, K22, K23, K24, K26].

Zagadnienia te były również podejmowane z naukowcami z innych placówek naukowych w Polsce tj.: Politechniką Warszawską, Politechniką Świętokrzyską w Kielcach, Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie. Efektem współpracy międzyuczelnianej jest Monografia pt. "GIS i teledetekcja w monitoringu środowiska" [Załącznik 4, Kod: M00].

W ramach współpracy z Akredytowanym Laboratorium Badań Własności Skał i Wyrobów Kamieniarskich Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH oraz we współpracy z dr inż. Joanną Hydzik – Wiśniewską, prowadziłam badania petrograficzne materiałów skalnych wykorzystywanych w budownictwie ze szczególnym uwzględnieniem piaskowców karpaccich [Załącznik 4, Kod: P12, P17, K19]. We współpracy z Katedrą Mineralogii, Petrografii i Geochemii Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH i z dr inż. Elżbietą Hycnar wykonałam identyfikację i charakterystykę minerałów ciężkich w strefie kontaktu mezozoik - neogen w KWB Bełchatów oraz przeprowadziłam badania mineralogiczno – petrograficzne skał [Załącznik 4, Kod: M5, P25, P33, P34].

We współpracy z Centrum Technologicznym Budownictwa Instytutu Badań i Certyfikacji Sp. z o.o. w Rzeszowie oraz z Siecią Badawczą Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny Laboratorium Surowców i Wyrobów Budowlanych w Warszawie, prowadzę badania petrograficzne materiałów kamiennych ukierunkowane na określenie charakteru petrograficznego, składu mineralnego, oceny korozyjności w aspekcie reaktywności alkalicznej kruszyw. Badania prowadzone są również w kontekście, przydatności badanych materiałów jako materiału budowlanego oraz prognozowania ich odporności na oddziaływanie zanieczyszczeń środowiskowych. Od 01.04.2021 r. w zakresie analiz petrograficznych i oceny reaktywności materiałów budowlanych byłam kierownikiem i wykonawcą licznych prac badawczych, ekspertyz, zleczanych przez powyższe jednostki [Załącznik 4, Kod: Z3 – Z30]. Zakres mojej pracy aktywności badawczej obejmuje również badania związane z ochroną zabytków i współpracę z instytucjami z tego obszaru. Wykonywałam na zlecenie „Konservacji dzieł sztuki” w Krośnie, m.in. badania petrograficzne posadzki w kaplicy Oświęcimów w Krośnie w celu identyfikacji genezy materiału skalnego [Załącznik 4, Kod: E2].

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

Moja aktywność zawodowa w Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, oprócz działalności badawczej obejmuje również działalność dydaktyczną, organizacyjną oraz popularyzującą naukę.

Działalność dydaktyczna

- Koordynowanie i prowadzenie ćwiczeń problemowych, laboratoryjnych i wykładów na kierunkach Inżynieria Środowiska, Ochrona Środowiska, Budownictwo z przedmiotów takich jak:
 - Geologia,
 - Geology w ramach programu ERASMUS+,
 - Geologia i geomorfologia,
 - Mechanika gruntów i geotechnika,
 - Ćwiczenia terenowe z mechaniki gruntów i geotechniki.
- Zajęcia dydaktyczne prowadzone w trakcie studiów doktoranckich na kierunkach Geologia, Górnictwo i Wiertnictwo na AGH w Krakowie z przedmiotów takich jak:
 - Mineralogia i petrografia,
 - Podstawy Geologii i Mineralogii,
 - Kopaliny towarzyszące i surowce odpadowe,
 - Odpadowe surowce mineralne,
 - Minerale ilaste.
- Opracowanie treści kształcenia i prowadzenie zajęć z przedmiotów autorskich, takich jak:
 - Geologia,
 - Geologia i geomorfologia,
 - Geology w ramach programu ERASMUS+.

- Przygotowanie materiałów dydaktycznych [**Załącznik 4, Kod: M01, M02**]:
 - ☐ Zarys geologii i geomorfologii,
 - ☐ Materiały dydaktyczne z geologii.
- Promotor 68 prac dyplomowych (40 prac inżynierskich, 28 prac magisterskich).
- Recenzent 13 prac dyplomowych.
- Członek 203 komisji egzaminacyjnych.
- Roczny staż zawodowy w Zespole Szkół Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazowego w Krakowie. Celem stażu było uzyskanie w trakcie postępowania egzaminacyjnego, awansu zawodowego na stopień nauczyciela kontraktowego [**Załącznik 4, Kod: S1**].
- Udział w wydarzeniu pt. „*ENVIREE Summer School on Rare earths recovery and environmental issues*”, AGH, Kraków Poland, April 27-28, 2017 r.”, które miało na celu nie tylko rozwinięcie współpracy naukowej, ale także połączenie doświadczeń i wymianę wiedzy z udziałem społeczności studenckiej [**Załącznik 4, Kod: PR3**].
- Współautorstwo i koordynacja publikacji przygotowanych wspólnie ze studentami [**Załącznik 4, Kod: P9, P28**].
- Aktywny udział w szkoleniach pt. „*Dydaktyczne czwartki*”.
- Realizacja warsztatów z geologii w programie edukacyjnym „*Być jak Ignacy*” 2016/17 r., w ramach którego Zespół Szkół w Pogwizdowie Nowym uzyskał tytuł „Naukowej Szkoły Ignacego” w konkursie organizowanym przez Fundację PGNiG im. Ignacego Łukasiewicza.
- Realizacja szkoleń i wykładów dla studentów i pracowników PRz na rzecz rozwoju Uczelni, w ramach wsparcia osób ze szczególnymi potrzebami, w tym z niepełnosprawnościami od 2022 r.
 - ✓ Zrozumieć i wesprzeć. Wyzwania w pracy wykładowcy: Jak radzić sobie z trudnymi zachowaniami studentów, wynikającymi z ich problemów psychicznych. *Konferencja Prorektorów ds. Kształcenia i Studenckich Polskich Uczelni Technicznych*. Rzeszów 24.10.2025 r.
 - ✓ Neuroróżnorodność, wyzwanie i szansa. Rzeszów, 23 kwietnia 2025 r.
 - ✓ Osoby z niepełnosprawnościami w społeczności akademickiej – szkolenie online dostępne na platformie <http://e-learning.prz.edu.pl>, od 2022 r.
 - ✓ Zwiększanie dostępności uczelni dla osób z niepełnosprawnościami. Rzeszów, 24 kwietnia 2024 r.
 - ✓ Przeciwdziałanie zachowaniom wykluczającym wobec osób wymagających szczególnych potrzeb edukacyjnych. Rzeszów, 18 styczeń 2024 r
 - ✓ Przegląd wyzwań psychologicznych zgłaszanych przez młodzież akademicką – Rzeszów, 30 marca 2023 r.

Działalność organizacyjna oraz popularyzująca naukę

- Członek Rady Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechniki Rzeszowskiej, od 2023 r. – aktualnie.
- Pełnienie funkcji pełnomocnika Rektora ds. Osób z Niepełnosprawnościami, PRz od 2022 r. - aktualnie.

- Pełnienie funkcji koordynatora ds. Osób z Niepełnosprawnościami na WBIŚiA, PRz od 2020 r.- aktualnie.
- Pełnienie funkcji sekretarza w Wydziałowej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia od 2020 r.– aktualnie
- Członkostwo w Polskim Towarzystwie Mineralogicznym od 2019 r.- aktualnie **[Załącznik 4, Kod: COK1]**.
- Członkostwo w Wydziałowej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia na kierunkach: inżynieria środowiska (od 2017 r – aktualnie), ochrona środowiska (od 2017 do 2020 r.), energetyka (od 2020 r. – aktualnie)
- Pełnienie funkcji opiekuna studentów na kierunku budownictwo w latach 2010 do 2015.
- Członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej, WBIŚiA, PRz w latach od 2010 do 2014.
- Udział w Komitecie organizacyjnym, XI Konferencji Naukowo-Technicznej pt. "Nowe kierunki badań w inżynierii środowiska, energetyce i gospodarce przestrzennej", 24.09.2025-26.09.2025 r., Bukowina Tatrzańska, Polska **[Załącznik 4, Kod; KOiN1]**.
- Udział w Komitecie organizacyjnym XXVII Konferencji Naukowo – Technicznej pt. „Geodezja, budownictwo, środowisko - aspekty naukowe, prawne, praktyczne i dydaktyczne”, 2018 r. **[Załącznik 4, Kod: KOiN2]**.
- Udział w Komitecie organizacyjnym, VI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. "Kartografia numeryczna i informatyka geodezyjna", 2017 r. **[Załącznik 4, kod: KOiN3]**.
- Udział w Komitecie organizacyjnym V Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. "Kartografia numeryczna i informatyka geodezyjna", 2015.09.09-2015.09.11 r., Iwonicz – Zdrój **[Załącznik 4, kod: KOiN4]**.
- Wymiana doświadczeń naukowych i dydaktycznych z naukowcami i studentami w ramach programu ERASMUS+ w Technical University in Kosice na Słowacji. **[Załącznik 4, Kod: PR2]**.
- Ekspert w Komisji konkursowej do przyznawania stypendiów w Urzędzie Marszałkowskim województwie podkarpackim w latach 2015/16 **[Załącznik 4: Kod: E1]**.
- Udział w promocji uczelni w szkołach średnich, mającej na celu zachęcenie przyszłych studentów do podjęcia studiów w Politechnice Rzeszowskiej.
- Udział w projekcie: „Odpowiedzialne wsparcie i zrównoważony rozwój”, POWER 03.05.00.00-A048/19
- Utworzenie Laboratorium Geologicznego w strukturze Katedry IiChŚ, PRz - 2021 r.
- Nawiązanie w 2023 r. współpracy z Podkarpacką Siecią Laboratoriów Badawczych i Wzorcujących (PSLBiW). Jako przedstawiciel Laboratorium Geologicznego Politechniki Rzeszowskiej biorę aktywny udział w spotkaniach laboratoriów i zebraniach plenarnych przedstawicieli PSLBiW.
- Prezentacja efektów badań i działalności Laboratorium Geologicznego oraz promocja tych osiągnięć za pośrednictwem mediów, takich jak Telewizja TVP, strony internetowe umieszczanych na platformach multimedialnych **[Załącznik 4, Kod: W1, W2, W3, W4]**.
- Udział w organizacji akcji pt. "Noc odkrywców", w ramach nocnych spotkań z nauką

- Udział w organizacji akcji pt. ” IX edycja Noc nauki Politechniki Rzeszowskiej”, 10.10.2025 r.
- Udział w organizacji zajęć w ramach Politechniki Dziecięcej.
- Udział w kongresie i ogólnopolskich targach pracy NETWORKPOWER jako prelegentka w panelu "Niepełnosprawność w świecie różnorodności", 2024 r.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z punktu widzenia wnioskodawcy, dotyczące jego kariery zawodowej.

Istotne aspekty mojej kariery zawodowej, które uważam za ważne z perspektywy osiągnięć i rozwoju zawodowego:

Ważniejsze nagrody i wyróżnienia

- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – za autorstwo/współautorstwo publikacji, 4 grudnia 2025 r.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – za autorstwo/współautorstwo publikacji, 5 grudnia 2024 r.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – indywidualna organizacyjna II stopnia, za działalność organizacyjną na rzecz wsparcia osób ze szczególnymi potrzebami i z niepełnosprawnościami, 5 grudnia 2024 r.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – za autorstwo/współautorstwo publikacji, 9 listopada 2023 r.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – za autorstwo/współautorstwo publikacji, 1 grudnia 2022 r.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – za autorstwo/współautorstwo publikacji, 27 października 2021 r.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – indywidualna III stopnia za cykl publikacji naukowych z zakresu monitoringu metali ciężkich w glebach przy zastosowaniu technik GIS i teledetekcji, 30 listopada 2017.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej – indywidualna III stopnia za uzyskanie tytułu naukowego.
- Wyróżnione na VIII konferencji Solina 2023 „Rozwój zrównoważony – Innowacyjne technologie energoefektywne - źródła energii, racjonalne zużycie energii-Energia niskoemisyjna przyjazna dla środowiska” za prezentację pt. „Wykorzystanie odpadowych surowców mineralnych jako szkieletu przewodzącego w zmiennofazowych akumulatorach ciepła”.
- Polska Nagroda Inteligentnego Rozwoju 2021 w kategorii „Innowacyjne technologie i badania przyszłości” za realizację projektu pt. „Opracowanie nawozu organiczno-mineralnego na bazie osadów ściekowych z dodatkiem mikroskładników mineralnych”, 14 czerwca 2021 r.

Inne

Kursy, praktyki, szkolenia

- Szkolenie: „Status asystenta dydaktycznego dla osoby z niepełnosprawnościami”. Rzeszów, 06 lutego 2023 r.
- Szkolenie: „Kontakt ze studentami z zaburzeniami ze spektrum autyzmu (ASD)”. Rzeszów, 20 lutego 2023 r.
- Szkolenie „Różnorodność i dyskryminacja” – 2024 r.
- Szkolenie „Różnorodność społeczna w perspektywie przeciwdziałania dyskryminacji i mikronierównościom w procesie kształcenia”, 29 listopada 2023r.
- Szkolenie: „Zarządzanie sobą w czasie z uwzględnieniem kontekstu osób/studentów z niepełnosprawnością”. Rzeszów, 21 października 2021 r.
- Szkolenie: „Status asystenta dydaktycznego na uczelni wyższej”. Rzeszów, 26 kwietnia 2021 r.
- Szkolenia: „Asystent osoby niepełnosprawnej”. Rzeszów 18 i 27 maj 2021 r.; 14 i 18 czerwca 2021 r.
- Szkolenie: „Podnoszenie jakości obsługi klienta-studenta w sekretariacie i dziekanacie. Zasady profesjonalnej i rzetelnej obsługi klienta w uczelni”. Rzeszów, 16 września 2021 r.
- Szkolenie: „Techniki radzenia sobie z agresją studenta oraz z własnymi emocjami w trudnych sytuacjach w administracji uczelnianej”. Rzeszów, 17 września 2021 r.
- Szkolenie: „Obsługa studenta z niepełnosprawnością. Komunikacja i savoir – vivre wobec osób z niepełnosprawnością”. Rzeszów, 28 maja 2021 r.
- Szkolenie: „Funkcjonowanie studentów niepełnosprawnych w środowisku akademickim”. Rzeszów 06 i 21 maja 2021 r.
- Szkolenie: „Funkcjonowanie osób z niepełnosprawnością słuchową w środowisku akademickim”. Rzeszów, 09 kwietnia 2021 r.
- Szkolenie: „Uczelnia wobec zaburzeń psychicznych. Komunikacja i formy wsparcia edukacyjnego studentów i kandydatów na studia z zaburzeniami psychicznymi”. Rzeszów, 05 i 19 marca 2021 r.
- Szkolenie: „Kontakt ze studentami z zaburzeniami ze spektrum autyzmu (ASD)”. Rzeszów, 29 marca 2021 r.
- Szkolenie: „Trening kontroli stresu i relaksacji. Warsztaty dla pracowników i sekretariatów szkół wyższych”. Rzeszów, 24 lutego 2021r.
- Szkolenie: „Odpowiedzialne wsparcie i zrównoważony rozwój” Collegium Paderevianum II UJ. Kraków 14,16 i 18 grudnia 2020 r.
- Szkolenie w zakresie obsługi aparatury badawczej firmy KAMIKA Instruments s.c., Rzeszów, 04-05 lutego 2014 r.
- Kurs kwalifikacyjny użytkownika oprogramowania MATLAB/SIMULINK w zakresie *MLBE -Wprowadzenie do programu MATLAB*, Kraków, 20-21 listopada 2013 r.
- Szkolenie z zakresu sondowania statycznego i dynamicznego sondy PAGANI TG 63-200, Rzeszów, 20 października 2011 r.

- Szkolenie: „Zasady zarządzania projektami innowacyjno-badawczymi. Planowanie biznesowe projektu innowacyjnego”. W ramach projektu WND -POKL.08.02.01-18-041/14, Rzeszów, 22 grudnia 2014 r.
- Szkolenie: „Komercjalizacja badań i transfer wiedzy. Własność intelektualna w praktyce”. W ramach projektu WND -POKL.08.02.01-18-041/14, Rzeszów, 07 stycznia 2015 r.
- Szkolenie: „Praktyczne zastosowanie wiedzy naukowej w przedsiębiorstwach”. W ramach projektu WND -POKL.08.02.01-18-041/14, Rzeszów, 16 stycznia 2015 r.
- Szkolenie z zakresu Bazy Web of Science. Rzeszów 6 marca 2013 r.
- Przygotowanie kilku wniosków o finansowanie projektów badawczych przez Narodowe Centrum Nauki oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Agnieszka Pękala

.....
(podpis wnioskodawcy)